

Sibylle Itzerott, André Brall, Frank Flechtner, Karl-Heinz Ilk,
Johannes Ihde, Johannes Leicht, Enrico Mai, Christoph Reigber,
Andreas Reinhold, Reinhard Rummel, Harald Schuh

Auf den Spuren des wissenschaftlichen Wirkens von Friedrich Robert Helmert

- Zum 175. Geburtstag -



Zitiervorschlag

Itzerott, S., Brall, A., Flechtner, F., Ilk, K.-H., Ihde, J., Leicht, J., Mai, E., Reigber, C., Reinhold, A., Rummel, R., Schuh, H. (2018): Auf den Spuren des wissenschaftlichen Wirkens von Friedrich Robert Helmert - Zum 175. Geburtstag, (Scientific Technical Report STR; 18/03), Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.
DOI: <http://doi.org/10.2312/GFZ.b103-18037>

Impressum

HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM
**DEUTSCHES
GEOFORSCHUNGSZENTRUM**

Telegrafenberg
D-14473 Potsdam

Veröffentlicht in Potsdam, Deutschland
Juli 2018

DOI: <http://doi.org/10.2312/GFZ.b103-18037>
URN: urn:nbn:de:kobv:b103-18037



Sibylle Itzerott, André Brall, Frank Flechtner, Karl-Heinz Ilk, Johannes Ihde, Johannes Leicht, Enrico Mai, Christoph Reigber, Andreas Reinhold, Reinhard Rummel, Harald Schuh

Auf den Spuren des wissenschaftlichen Wirkens von Friedrich Robert Helmert

- Zum 175. Geburtstag -

Inhaltsverzeichnis

<i>Einführung</i> _____	2
<i>Bildouvertüre</i> _____	3
<i>Friedrich Robert Helmert zum 100. Todestag – dem Begründer der modernen Geodäsie</i> _____	11
<i>Friedrich Robert Helmert im „System Althoff“. Preußische Wissenschaftspolitik und das Geodätische Institut</i> _____	39
<i>Grenzen der Genauigkeit. Helmert und die Längenmessung</i> _____	54
<i>Die Geodäsie-Ausbildung in Berlin - bei Friedrich Robert Helmert als Professor an der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität und heute</i> ____	77
<i>Von der Helmertschen Erdfigur zur Satellitengravimetrie</i> _____	108
<i>Dokumentenanhang</i> _____	151

Einführung

Das Jahr 2017 war auf dem Potsdamer Telegrafenberg, der langjährigen Heimat von Friedrich Robert Helmert, geprägt durch mehrere Jubiläen: der 125ste Jahrestag der Eröffnung der neuen Forschungsräumlichkeiten des Geodätischen Instituts wurde am 06. April 2017 unter Beteiligung von zahlreichen Gästen mit einem bunten Festprogramm gefeiert. Am darauf folgenden Tag haben mehrere Vortragende in einem gut besuchten Kolloquium an das 100ste Todesjahr von F.R. Helmert erinnert. Dies wurde ergänzt durch zahlreiche Vortragsveranstaltung und weitere Kolloquien zu Helmert, die im Jahr 2017 an mehreren Orten in Deutschland durchgeführt wurden, wie z.B. in Aachen, Dortmund und - an seinem exakten Todestag, dem 15. Juni – in Potsdam.

Die faszinierende Ausstellung „Fokus Erde“ hat im Frühjahr 2017 im Haus der Brandenburgisch-Preußischen Geschichte in Potsdam die Entwicklung der Geodäsie als Wissenschaft in den letzten beiden Jahrhunderten mit beeindruckenden Exponaten einer breiten Öffentlichkeit präsentiert. Es war zu sehen, dass die Geschichte der Geodäsie – national wie auch international – im ausgehenden 19. Jahrhundert wesentlich vom Potsdamer Telegrafenberg aus geprägt wurde und es muss nicht erstaunen, dass in der Ausstellung die Leistungen von Helmert, sowohl als Wissenschaftler, Hochschullehrer, geodätischer Beobachter wie auch als Organisator wissenschaftlicher Projekte eine besondere Rolle spielten.

Bei den Feiern zum 25-jährigen Bestehen des Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), die ebenfalls im Jahr 2017 stattfanden, wurde immer auf die großartigen wissenschaftlichen Leistungen des langjährigen Institutsdirektors Helmert hingewiesen, die eine unverzichtbare Grundlage der heutigen Arbeiten am GFZ bedeuten und in deren Tradition sich das GFZ auch heute noch sieht.

Der vorliegende Band soll insofern die unterschiedlichen Bereiche des Lebens und Wirkens von F.R. Helmert, die zum Teil im Jubiläumsjahr 2017 an verschiedenen Stellen zu Tage befördert wurden, zusammenführen und, ergänzt um weitere neu recherchierte Aspekte, den Bogen bis in die heutige Zeit der Satellitengeodäsie und des Einsatzes von Hochleistungsrechnern für geodätische Aufgaben spannen. Ohne die grundlegenden Arbeiten von Helmert wäre diese Entwicklung nicht möglich gewesen. In diesem Sinne nehmen wir seinen Geburtstag am 31. Juli 1843 zugleich zum Anlass, sein wissenschaftliches Wirken zu seinem 175. Ehrentag mit diesem Buch zu würdigen.

Allen Beteiligten an den genannten Veranstaltungen wie auch den Autoren des vorliegenden Bandes sei hiermit ausdrücklich gedankt.

Den Beiträgen vorangestellt ist eine Bildauswahl mit Portrait- und Gruppenaufnahmen, die Helmert zu verschiedenen Zeiten und in unterschiedlichen Positionen seines wissenschaftlichen Wirkens präsentieren.

Harald Schuh

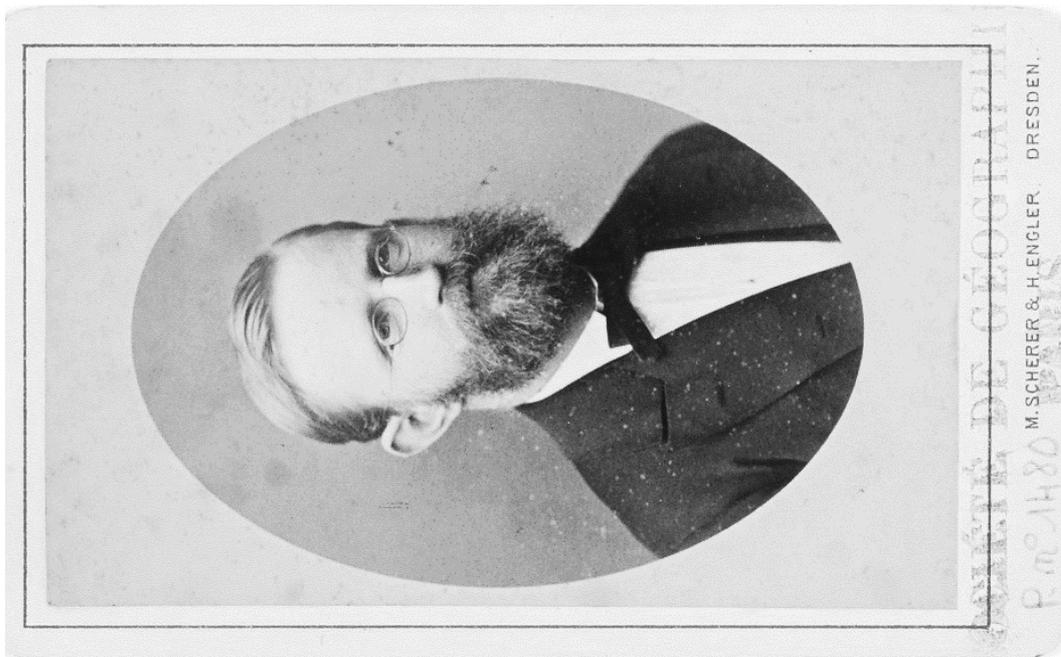
Potsdam, 31. Juli 2018

Direktor des Department 1 "Geodäsie" am GFZ



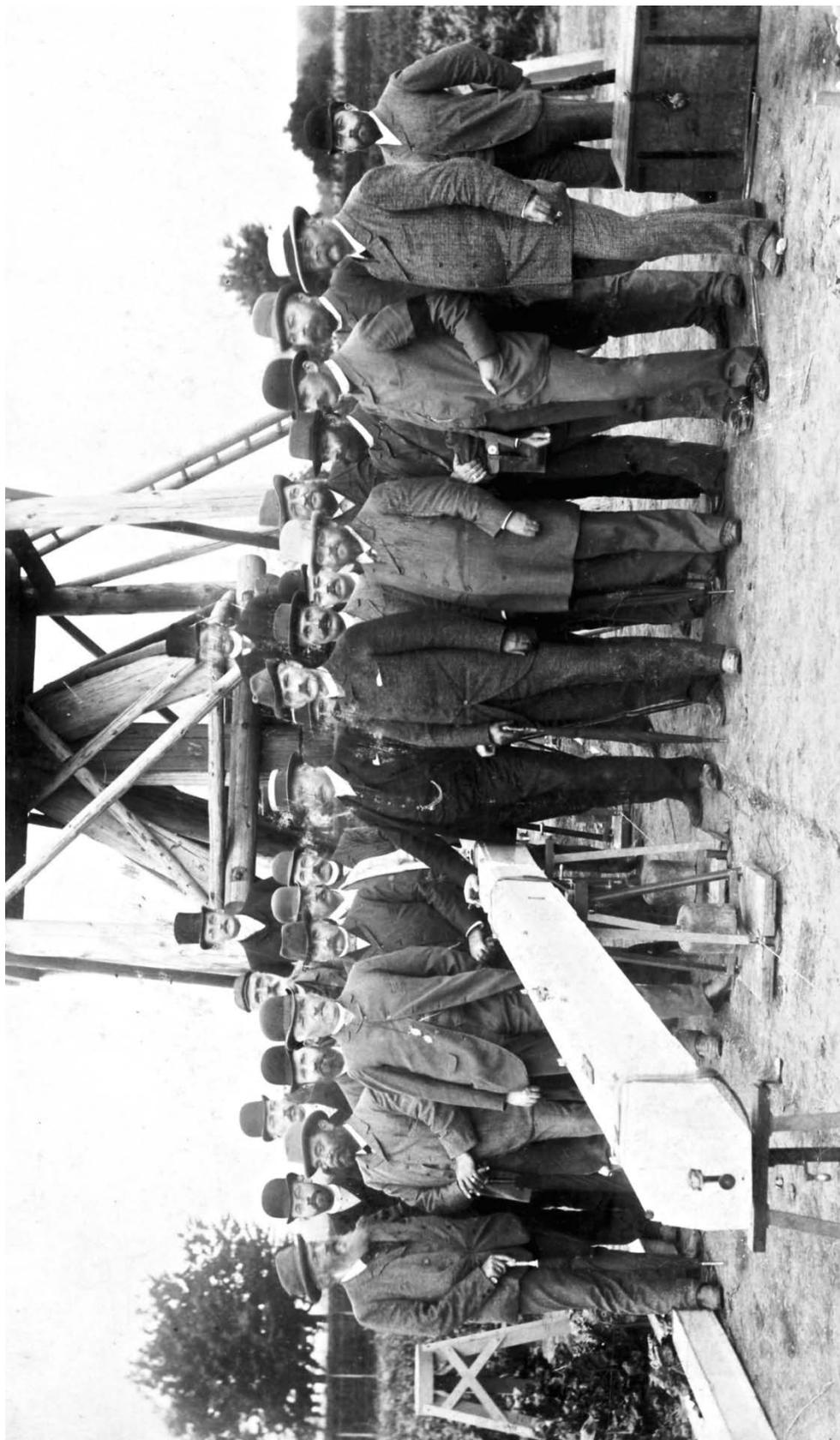
F. R. Helmert in einem Porträt von 1869

So- Aus: Berroth, A.: Das Lebenswerk des überragenden Meisters der Erdmessung
F. R. Helmert, Z. f. Geophysik, S. 87-99 (1943)



F. R. Helmert in einem Porträt von 1884

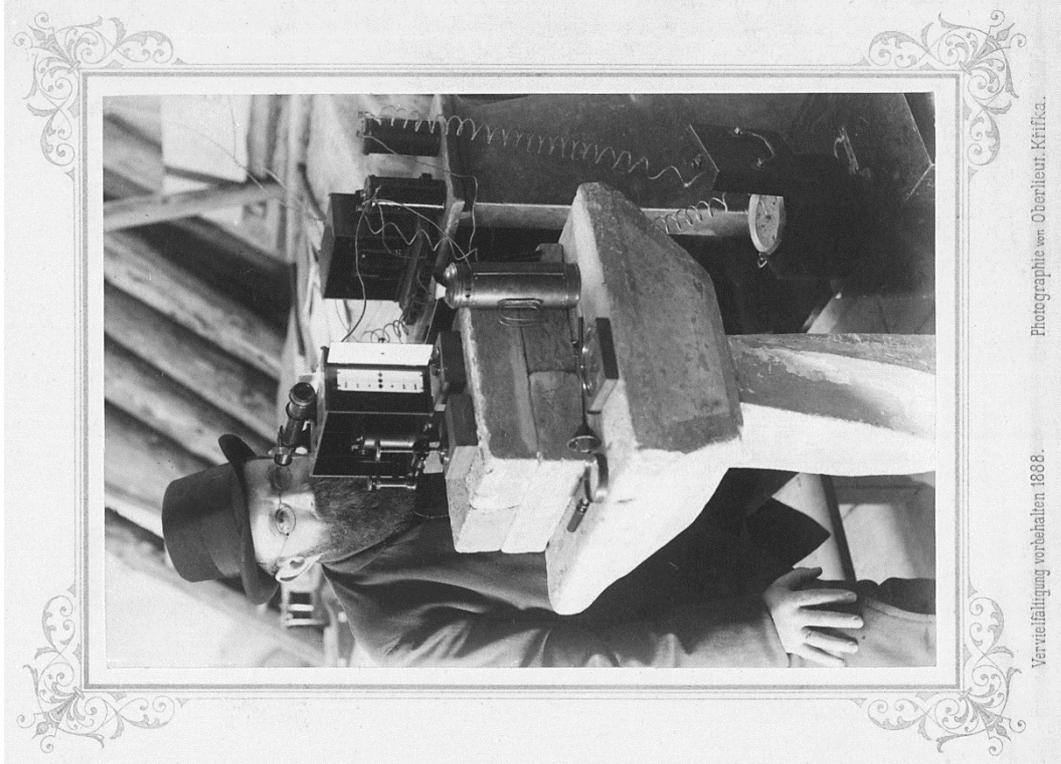
Source gallica.bnf.fr/Bibliothèque nationale de France, département
ciété de Géographie, SG PORTRAIT-1480



Gruppenaufnahme der Wissenschaftler des Geodätischen Institutes und der Mitarbeiter der Trigonometrischen Abteilung der Preußischen Landesaufnahme im Juli 1892

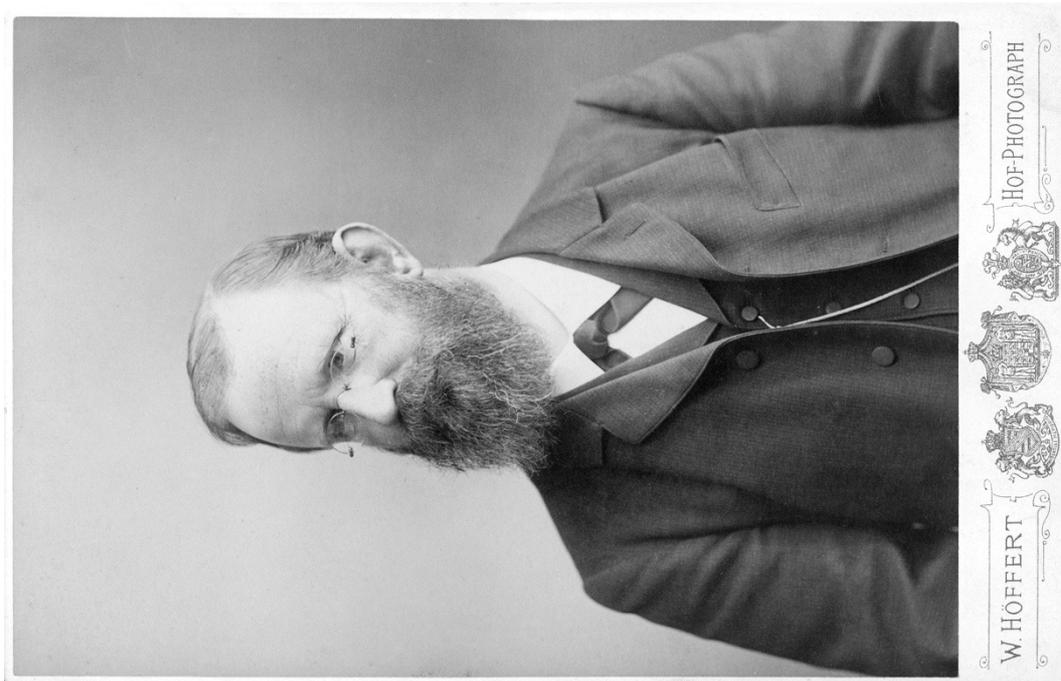
F. R. Helmert als 5. von links

© Geobasis.NRW



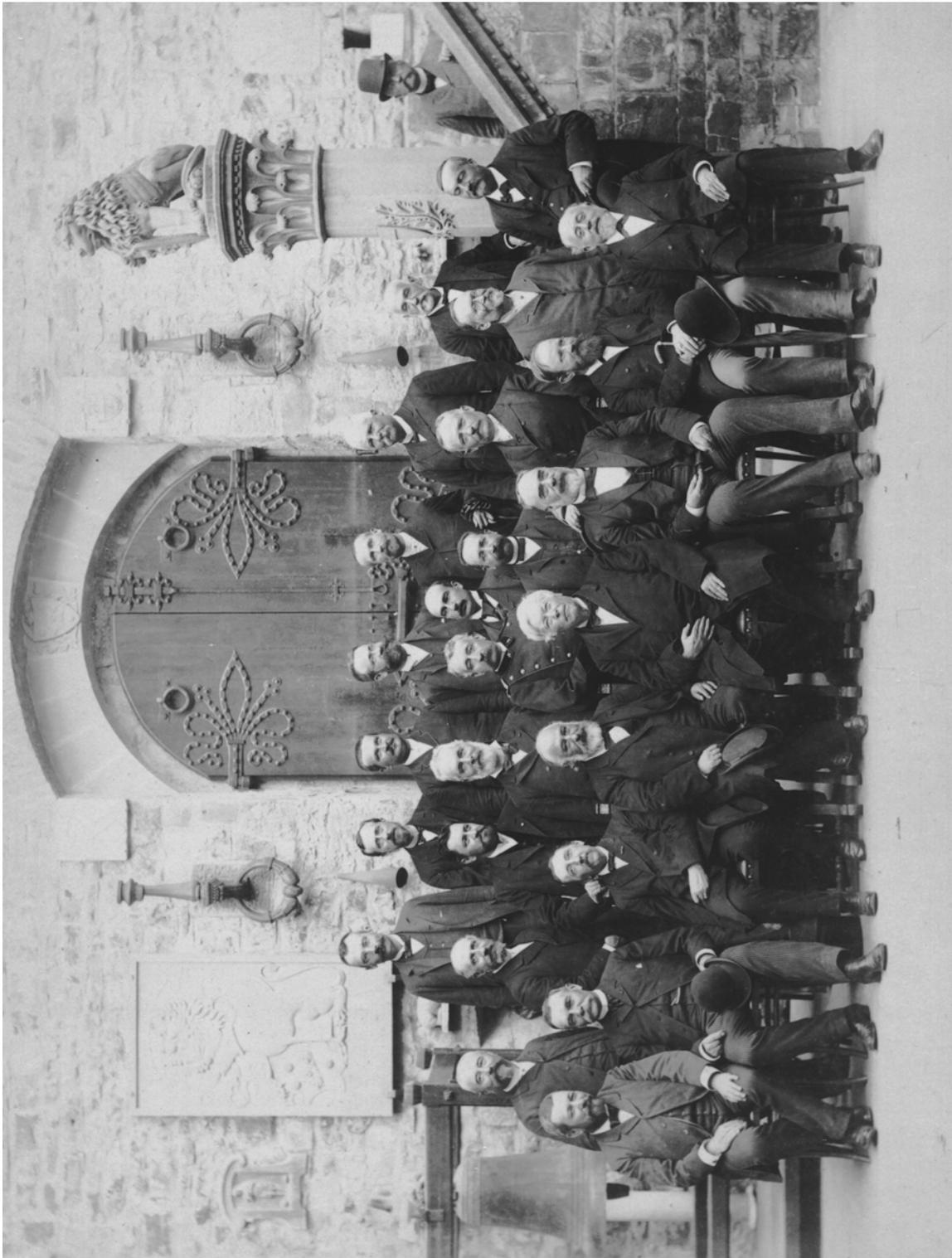
F. R. Helmert in einer Aufnahme von 1888 am Koinzidenzapparat

© Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Rep. 465 ZIPE Fotos, F25



F. R. Helmert in einem Porträt vermutlich von 1893

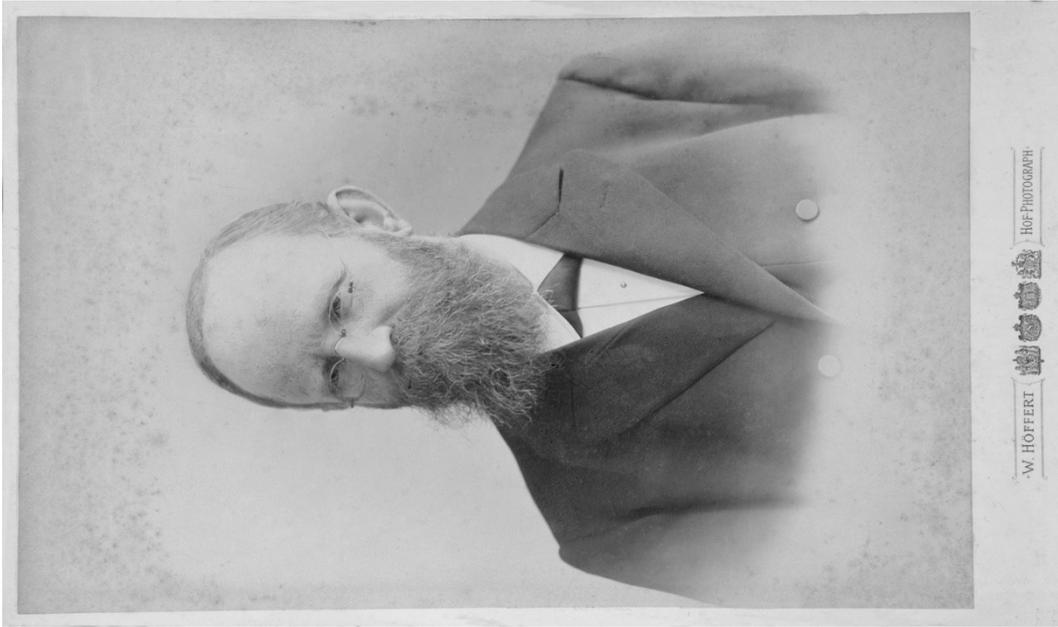
Quelle: Privatbesitz



Sitzung der Permanenten Commission der Internationalen Erdmessung in Florenz (8. bis 17. Oktober 1891), Gruppenaufnahme der Kommissionsmitglieder und Länderabgeordneten

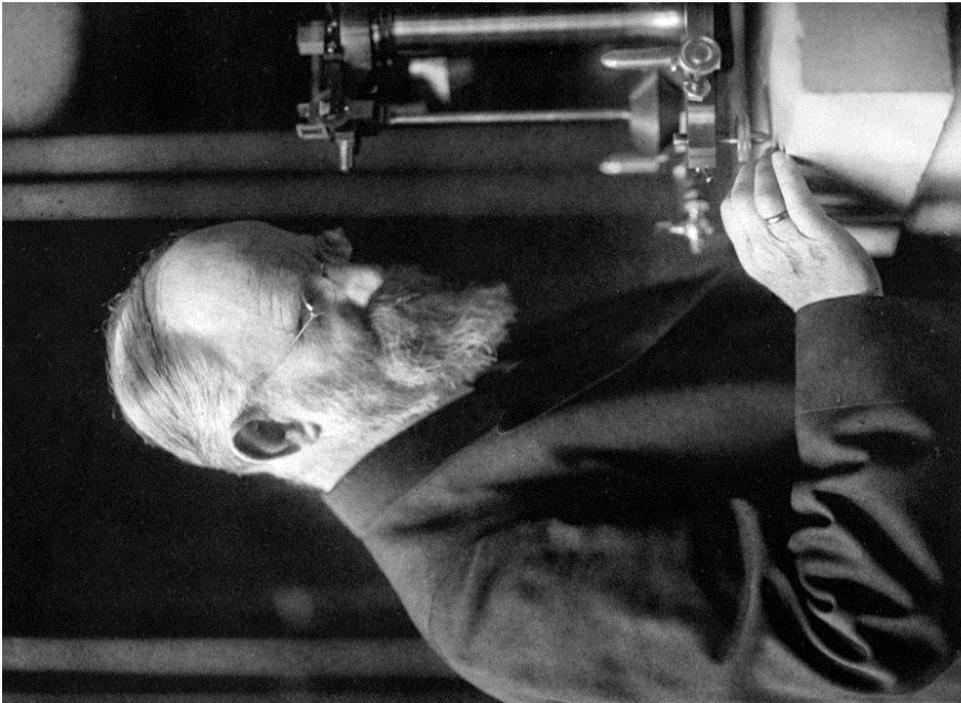
hinten von links: Defforges (Paris), Schols (Delft), xxx, Haid (Karlsruhe), xxx, Morsbach (Berlin), xxx, xxx; Mitte von links: Bassot (Paris), Arrilaga (Madrid), xxx, Ferrero (Florenz), Lallemand (Paris), Zachariae (Aarhus), xxx, Bouquet de la Grye (Paris), Lorenzoni (Padua), vorn von links: Tisserand (Paris), Derrecagaix (Paris), van de Sande-Bakhuyzen (Leyden), Hirsch (Neuenburg), Faye (Paris), Rümker (Hamburg), Helmert (Potsdam), Foerster (Berlin), weitere nicht identifizierte Teilnehmer: Hennequin (Brüssel), Betocchi (Rom), Carusso (Athen), de Stefanis (Neapel),

Quelle: Privatbesitz



F. R. Helmert in einem Porträt von 1902

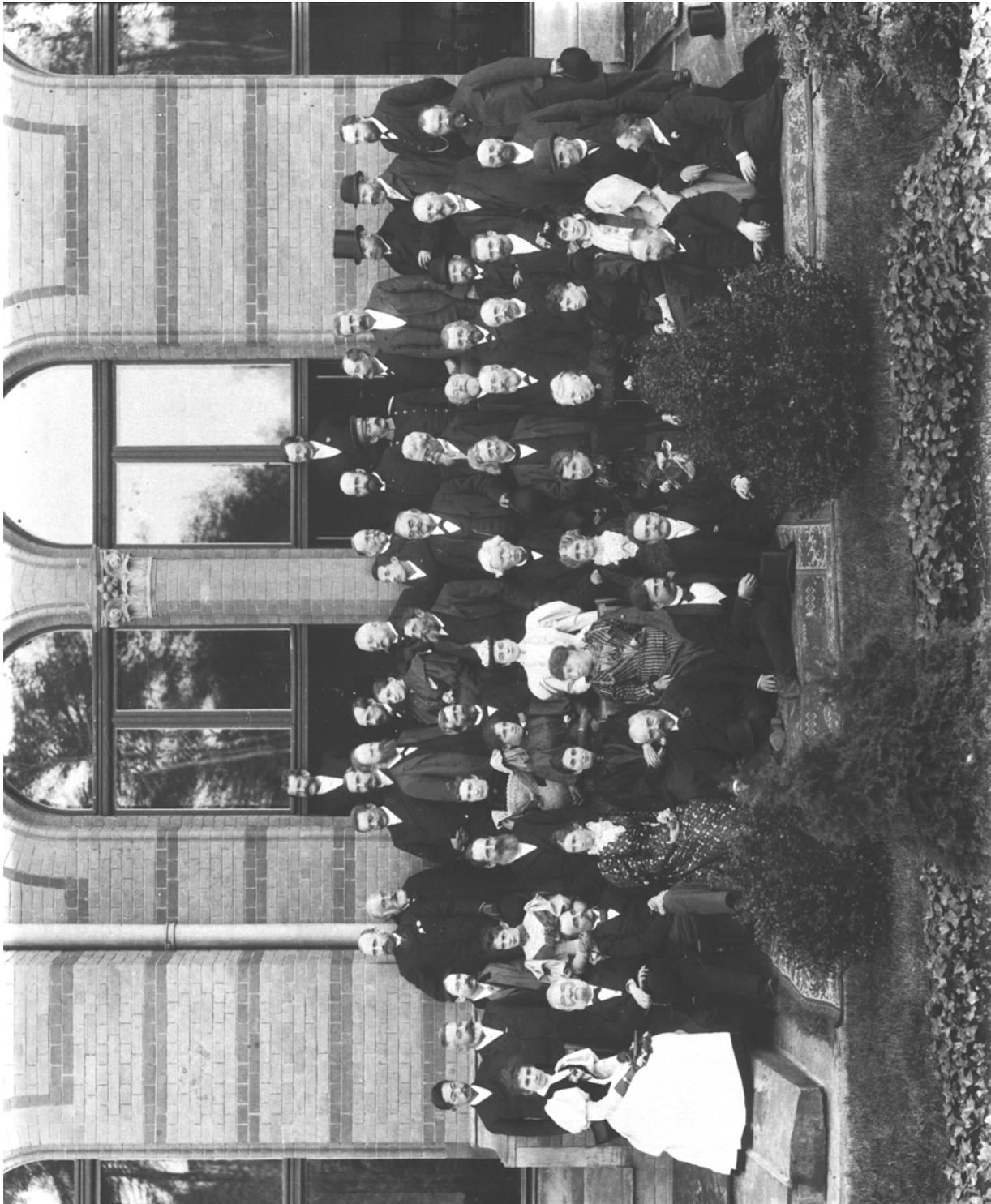
Quelle: Privatbesitz



F. R. Helmert

F. R. Helmert an einem Relativ-Pendelgerät (1906)

© Humboldt-Universität zu Berlin, Universitätsbibliothek



Elfte Allgemeine Konferenz der Internationalen Erdmessung in Berlin (30. September bis 12. Oktober 1895), Exkursion der Tagungsteilnehmer zum Königlich-Geodätischen Institut nach Potsdam, Gruppenaufnahme von Tagungsteilnehmern und Institutsmitarbeitern (z.T. mit Ehefrauen)

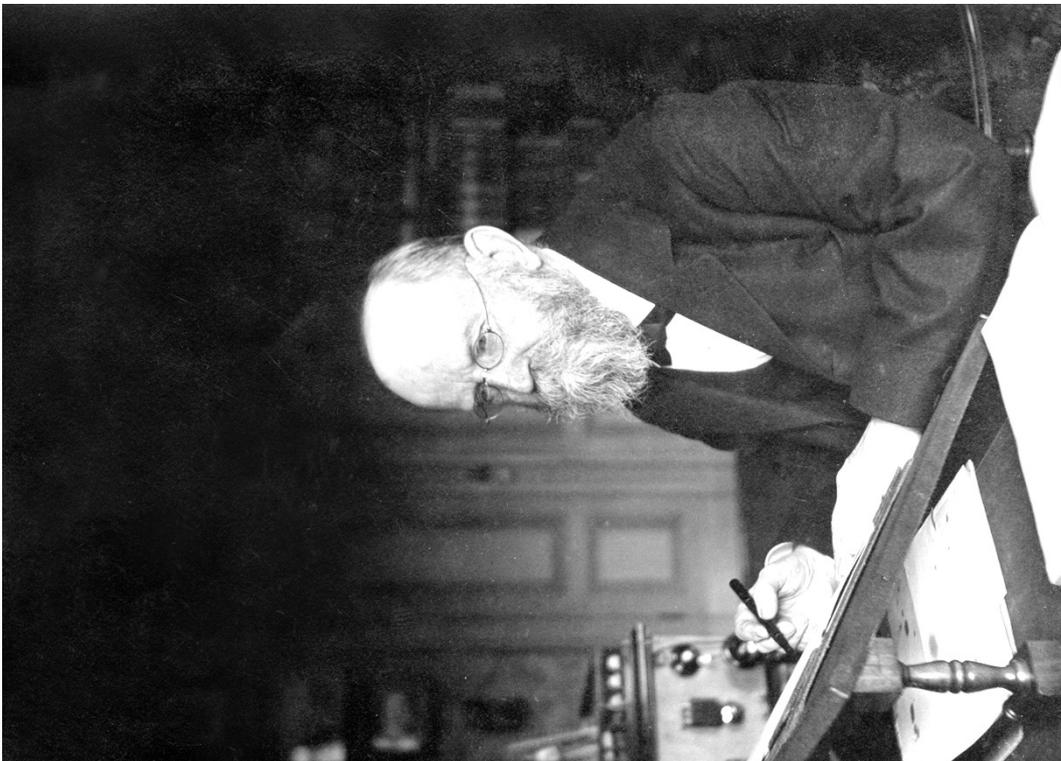
F. R. Helmert in der hinteren Reihe stehend als 5. von links, rechts von ihm seine Frau Marie; T. Albrecht (Abteilungsvorsteher im Institut) in der vorderen Reihe der Stehenden als 4. Mann von links, davor seine Frau Marie

© Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Rep. 465 ZIPE Fotos, G 1



F. R. Helmert in einem Porträt von 1913

© GFZ



F. R. Helmert in einem Porträt vermutlich von 1913

Quelle: Privatbesitz

Friedrich Robert Helmert zum 100. Todestag – dem Begründer der modernen Geodäsie

Johannes Ihde und Andreas Reinhold

Zusammenfassung

Friedrich Robert Helmert starb, nach über dreißigjähriger Tätigkeit als Direktor des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts und des Zentralbüros der Internationalen Erdmessung, der heutigen Internationalen Assoziation für Geodäsie, 1917 in seinem 74. Lebensjahr in Potsdam. Er widmete sein Leben und wissenschaftliches Schaffen der Geodäsie. Seine Lehren zur theoretischen und physikalischen Geodäsie fanden weltweit Eingang in die universitäre Ausbildung und damit in die internationalen Projekte der Vermessung des Planeten Erde. Der Beitrag soll seinen Einfluss auf die Formierung der modernen Geodäsie und das fachliche Umfeld zeigen.

Prolog

Am 15. Juni 1917 starb in Potsdam der ordentliche Professor der Geodäsie und Direktor des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts Potsdam, *Geheimer Oberregierungsrath* Prof. Dr. Dr.-Ing. e. h. Friedrich Robert Helmert. In den letzten 100 Jahren wurden das Leben und Werk Helmerts in vielen Publikationen sehr eindrucksvoll gewürdigt (z. B. Penschel, 1967; Wolf, 1993; Buschmann, 1993c; Höpfner, 2013b). Den Autoren dieses Artikels war von vornherein bewusst, dass es auch deshalb eine schwierige Aufgabe ist, neue Blickwinkel für das Lebenswerk Helmerts im Rahmen der Erdwissenschaften zu öffnen. Aus diesem Grund versuchen wir, sein Leben und Wirken in Verbindung mit den Bedingungen und Entwicklungen seiner Zeit zu bringen und die Frage zu beantworten: Welche Umstände haben dazu geführt, dass Helmert so produktiv sein konnte und seine Lehren auch heute noch über die Geodäsie hinaus für die Erdwissenschaften von Bedeutung sind?

Mit seiner Dissertation *Studien über rationale Vermessungen im Gebiet der höheren Geodäsie* 1868, seinem Buch *Die Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate – Mit Anwendungen auf die Geodäsie, die Physik und die Theorie der Messinstrumente* 1872 und den beiden Bänden *Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie* 1880 und 1884 schaffte Helmert einen Entwurf der modernen mathematisch-physikalisch geprägten Geodäsie. Mit seiner Arbeit zur Eisenbahnvermessung, *Die Übergangscurven für Eisenbahn-Geleise mit Rechnungs-Beispielen und Tafeln für den praktischen Gebrauch*, hat Helmert 1872 den Anforderungen der Industrialisierung Rechnung getragen. All diese Arbeiten waren auch ein Leitfaden für seine wissenschaftlichen, praktischen und technisch geprägten Tätigkeiten am Königlich Preußischen Geodätischen Institut von 1886 bis zu seinem Tode 1917 und als Mitglied der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften seit 1900. Helmert war das erste Akademiemitglied, das die Berufsbezeichnung Geodät trug.

Seine bahnbrechenden wissenschaftlichen Veröffentlichungen und organisatorischen Arbeiten haben weltweit die universitäre Ausbildung und Forschung nachhaltig beeinflusst und Generationen von Geodäten und Geophysikern in ihrem Berufsbild geprägt. Zweifels- ohne ist es den intensiven und systematischen naturwissenschaftlichen und technischen

Arbeiten Helmerts zu verdanken, dass die Internationale Union für Geodäsie und Geophysik die von ihm begründete wissenschaftliche Disziplin in ihrem Namen mitträgt.

Auch wenn Helmerts wissenschaftliches Wirken mehr als 100 Jahre zurückliegt, lohnt es sich doch, die Hintergründe der Erfolgsgeschichte der Internationalen Erdmessung (IE) zu betrachten (Torge, 2007).

Die Jugend- und Lehrjahre

Friedrich Robert Helmert wurde am 31. Juli 1843 in Freiberg/Sachsen geboren. Er war das 17. und jüngste Kind des Stiftungskassierers Johann Friedrich Helmert in zweiter Ehe mit Christiane Fredericke, geb. Linke. Viele seiner Geschwister starben bereits früh. Die Familie wohnte im Haus Nonnengasse 17, das im Besitz des Vaters war. Helmert wuchs in bürgerlichen Verhältnissen auf. Die Familie war in früheren Jahren mit dem, die Region Freiberg prägenden, Bergbau verbunden. (Berroth, 1953)

Von 1849 bis zu seinem 13. Lebensjahr 1857 besuchte Helmert die Knabenbürgerschule in seiner Geburtsstadt. Er konnte dann an die Dresdner Annenrealschule wechseln, an der einer seiner (Halb-)Brüder als stellvertretender Rektor und Botaniker tätig war und von der „... ich nach gut bestandem Reifeexamen auf die polytechnische Schule zu Dresden mit Überspringung der untersten Classe Ostern 1859 übertrat und hier alsbald mit Vorliebe dem Studium der Ingenieurwissenschaften oblag“ (Gast, 1921). Die Annenrealschule hatte Helmert mit der Hauptzensur 1 abgeschlossen und erhielt als Buchprämie *Eisenlohr's Physik*. An der *Königlichen Polytechnischen Schule*, der Vorgängereinrichtung der heutigen Technischen Universität Dresden, entwickelte sich bei Helmert rasch eine Neigung zur Geodäsie, die von seinem Lehrer, Prof. Christian August Nagel (1821-1903), erkannt und gefördert wurde. Schon während seiner Studienzeit konnte Helmert an Feldarbeiten bei der Triangulierung des *Erzgebirgischen Kohlenbassins* und der sächsischen Gradmessung teilnehmen. Gerade am erstgenannten Projekt wird die wachsende Bedeutung der Geodäsie für die beginnende Industrialisierung in Sachsen deutlich, auch wenn die Detailaufnahme der Steinkohleflöze dann nicht mehr erfolgte, weil schon zu dieser Zeit erkennbar war, dass die Lagerstätten begrenzt sind. Helmert hat hierbei an den Nivellements und den Höhenberechnungen mitgewirkt. Im Studienjahr 1860/61 war Helmert in der „*Unteren Abteilung, Erste Classe in der Section B. für Strassen-, Wasser-, Brücken- und Eisenbahnbau*“ (Hülse, 1861) eingeschrieben.

Seine ausgezeichneten Studienleistungen haben entscheidend dazu beigetragen, dass er im Sommer 1863 die Stellung eines *Gradmessungsassistenten* bei Nagel antreten konnte. Das Königreich Sachsen war 1862 der *Mitteuropäischen Gradmessung* beigetreten und Nagel, als sächsischer *Gradmessungscommissar*, ab 1863 für die Bearbeitung des Dreiecksnetzes verantwortlich. Ergänzt durch ein Netz 2. Ordnung, der *Königlich Sächsischen Triangulierung*, wurden in kurzer Zeit über 150 Vermessungspunkte geschaffen, die hohen Ansprüchen an die Genauigkeit der Koordinatenbestimmung genügen und eine dauerhafte Stabilität gewährleisten mussten. Bei der Netzgestaltung, der Punkterkundung, dem Aufbau und der Sicherung der Steinsäulen und bei den Messarbeiten fand Helmert ein breites und interessantes Betätigungsfeld: „*Hier nun bot sich mir reiche Gelegenheit, durch vielfältige Untersuchungen des Terrains mit Meßtisch und Kette, geometrische und trigonometrische Aufnahmen, geometrische und trigonometrische Nivellements, durch Beschäfti-*

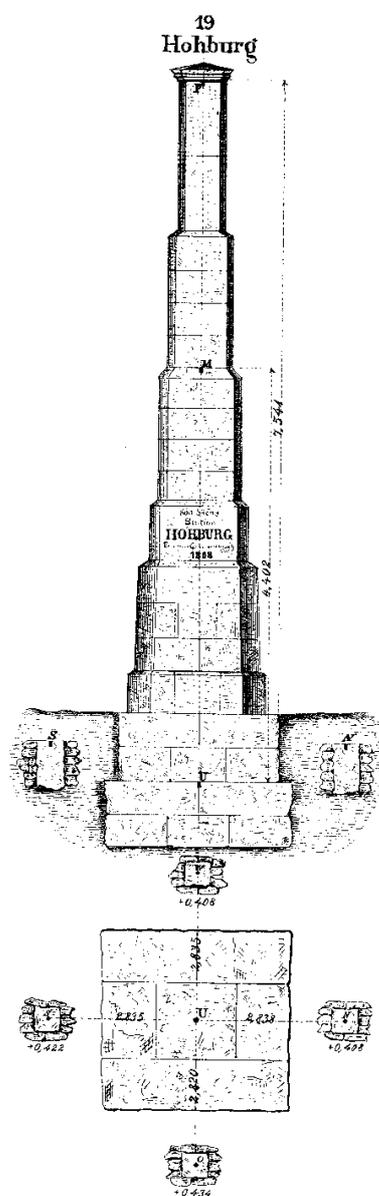
gung mit Theodolit und Universalinstrument und durch aufmerksames Verfolgen der Arbeiten der Ingenieurabtheilung der polytechnischen Schule, unterstützt von der Zuvorkommenheit des Herrn Professor Nagel, die praktische Seite der niederen und auch der höheren Meßkunst kennen zu lernen. Die Verarbeitung des Beobachtungsmaterials gab Gelegenheit zur Übung im Zeichnen und Entwerfen, insbesondere aber zur Aneignung einer genauen Kenntniß des mathematischen Theiles der Geodäsie.“ (Gast, 1921)

Allein in seinem Jahresbericht 1865 informiert Helmert auf 22 eng beschriebenen Blätter ausführlich und zusätzlich in 26 Einzelberichten über den Ablauf der Erkundungsarbeiten und Stationsbauten (HStA Dresden 1, Dokument 1). In seinem Specialbericht an das Königlich Sächsische Finanzministerium attestiert Nagel für seinen Assistenten das Folgende: „Herr Assistent Helmert war im Jahre 1865 179 Tage auswärts und 147 Tage in Dresden also überhaupt 326 Tage in Angelegenheiten der Gradmessung in Sachsen beschäftigt. Überdieß war derselbe auf Preuß. Kosten 8 Tage im Harz, um daselbst für den General Baeyer Beobachtungspfeiler zu setzen und 31 Tage hat er für die Triangulirung des Erzgebirgischen Kohlenbassins gearbeitet. ... Was seine auswärtige Thätigkeit betrifft, so bestand dieselbe in ... Specialrecognoscirungen ..., in der speciellen Leitung der Pfeilerbauten, in der Leitung des Signalpyramidenbaus, in der Anstellung und Inspicirung der Heliotropisten und in der Assistenzleistung bei den Winkelbeobachtungen auf der Lausche. Über diese Thätigkeiten hat er einen speciellen Bericht angefertigt, auf den ich zu verweisen mir gestatte. In Dresden war er beschäftigt mit der Ausarbeitung der verschiedenen Pfeilerprojecte, mit der Anfertigung der Zeichnungen und der Protocolle für die ausgeführten Pfeiler und mit der Einleitung der Berechnung der Winkelbeobachtungen.“ (HStA Dresden 2)

Das der Wissenschaftsdisziplin Geodäsie eigene Prinzip der engen Verknüpfung von Theorie und Praxis wurde auch von Helmert schon seit den Jahren seines Studiums praktiziert. So nutzte er seine Kenntnisse und die gesammelten Erfahrungen als Assistent bei der Gradmessung für eine wissenschaftliche Arbeit unter dem Titel Studien über rationale Vermessungen der höheren Geodäsie, in der er Untersuchungen über die Einschaltung von Punkten niederer Ordnung in eine Landestriangulation anstellt und die er später in Leipzig als Dissertation einreichte und publizierte (Helmert, 1868). „Im Einverständnis mit Herrn Professor Nagel ging ich von Michaelis 1866 ab auf 1 Jahr nach Leipzig zur weiteren Vervollkommnung in Mathematik, Astronomie und anderen Disciplinen allgemeineren Interesses...“ Helmert wurde dieser Studienaufenthalt durch ein Reisestipendium ermöglicht, welches ihm am Ende seines Studiums vom Lehrerkollegium der polytechnischen Schule gewährt worden war. (Gast, 1921) Im Wintersemester 1866/67 hörte er u. a. „Praktische National-Oeonomie, Höhere Gleichungen, Determinanten, Stellarastronomie, Elliptische Integrale und Erkenntnistheorie von Locke, Leibniz, Hume und Kant“. Das Sommersemester 1867 beinhaltete Vorlesungen „Ueber Kant's Theorie und Kritik der Erkenntniß, Elliptische Integrale, Höhere Algebra, Analytische Mechanik, Theorie der algebraischen Integrale und Darstellung und Kritik von Hegels Philosophie sowie Geographische Ortsbestimmungen mit prakt. Uebungen auf der Sternwarte und Meteorologie“. (UA Leipzig)

Die Leipziger Universitätssternwarte hatte unter der Leitung von Prof. Dr. Carl Christian Bruhns (1830-1881) einen auch international ausgezeichneten Ruf, war bis 1861 neu erbaut worden und von der Pleißenburg vor die Stadt, ins Johannistal umgezogen. Bruhns, ebenfalls Gradmessungscommissar des Königreichs Sachsen, war für die astronomischen Arbeiten und die Leitung der Basismessung verantwortlich. Er empfiehlt der philosophi-

schen Fakultät die Annahme der Dissertation Helmerths u. a. mit den Worten: „Herr F. Helmert hat meine Vorlesungen während seiner hiesigen Studienzeit mit ausgezeichnetem Fleisse besucht und an Instrumenten auf der hiesigen Sternwarte ... vielfach zu meiner grossen Zufriedenheit beobachtet und die Beobachtungen auch vollständig reduciert. Die erhaltenen Resultate zeugen von großem Eifer, gutem Verständnis und zeigen eine besondere Befähigung zu astronomischen und verwandten Beobachtungen. ... Die Abhandlung des Herrn Helmert ist eine gute und eine fast ganz neue Arbeit, indem der Gegenstand vor ihm noch fast gar nicht behandelt ist. Im Allgemeinen ist sie eine Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf Geodätische Probleme.“ (UA Leipzig). Der akademische Titel eines Dr.-phil. wurde ihm am 12. Mai 1868 in Leipzig verliehen, nachdem er sich „... in Betreff des mündlichen Examens ...“ gewünscht hatte „... dasselbe möge sich vorzugsweise auf Physik, insbesondere die mehr deductiven Theile derselben erstrecken, ferner auf Mathematik und Mechanik, und auf praktische Astronomie, vielleicht mit besonderer Berücksichtigung des geodätischen Theils derselben.“ (UA Leipzig, Dokument 2)



Damit blieb Helmert auch in Leipzig in den Vorlesungen bei Bruhns und in seinem Arbeitsumfeld sehr eng mit den Gradmessungsarbeiten verbunden und es verwundert nicht, dass er nach Beendigung seiner Studien Ende 1867 wieder für diese tätig wurde: im Januar 1868 mit Berechnungsarbeiten und vom 5. bis 7. Juli beim Pfeilerbau in Hohburg bei Wurzen (Abb. 1).

Vom 22. Juli bis 27. Oktober 1868 führte er dann im Auftrage vom Bruhns auf der Pleißenburg in Leipzig und fünf Punkten in der Umgebung der Stadt Bestimmungen der Polhöhe und des Azimuts sowie die Winkelmessungen zur Ermittlung der geodätischen Lage der Punkte aus. Zur Verwendung kam ein zehnzölliges Universalinstrument von Pistor & Martins. Bereits auf der Ersten Allgemeinen Konferenz der Mitteleuropäischen Gradmessung 1864 in Berlin war der Beschluss gefasst worden, für die Untersuchung der Lotabweichungen in der Umgebung von Sternwarten weitere Punkte in die astronomischen Messungen einzubeziehen. Diesem Ziel dienten Helmerths Arbeiten. Nagel konnte dann auf der Achten Allgemeinen Konferenz der Europäischen Gradmessung 1886 in Berlin, nachdem auch die geodätischen Bestimmungen für diese Punkte vorlagen, die Ergebnisse in Anwesenheit von Helmert präsentieren (Hirsch, 1887, Dokument 3).

Außerdem war Helmert in diesen Monaten im Jahr
Abb. 1: 7,5 m hoher Sächsischer Gradmessungspfeiler Hohburg, erbaut 1868 unter Leitung von Helmert (Nagel, 1890).

1868 mit Arbeiten für Nagel zur

„... Discussion der feinen Normalwägungen der Normaleichungscommission ...“ beschäftigt und arbeitete – was sicher als Brotarbeit zu werten ist – als Mathematiklehrer am privaten Gymnasium von Dr. Hölbe in Dresden (Gast, 1921). Die Verbundenheit, Wertschätzung und der fachliche Gedankenaustausch zwischen Nagel als Lehrer und Praktiker und Helmert als Schüler und Theoretiker hielt ein Leben lang.

Die Wiege der Internationalen Erdmessung

In die Zeit ab 1859 fielen wichtige Vorentscheidungen und erste Schritte zur Konzipierung eines neuen europäischen Gradmessungsprojektes. Gradbogenmessungen des 18. Jahrhunderts dienten vorrangig der Bestimmung der Größe und Form der Erde. Der *Struve-Meridianbogen* war das weiträumigste Projekt in Europa und erstreckte sich mit 258 Hauptdreiecken über 2800 km von Hammerfest bis zum Schwarzen Meer. Seit 2005 ist es als erstes *wissenschaftliches Instrument* UNESCO-Weltkulturerbe. Er ist das Ergebnis früher internationaler Zusammenarbeit auf einem Territorium, das heute zehn Staaten umfasst (siehe auch Torge, 2016).

General Johann Jacob Baeyer (1794-1885) war als Chef der trigonometrischen Abteilung des preußischen Generalstabs an der Konzipierung, Durchführung und Leitung vieler Projekte der Landesvermessung beteiligt, so u. a. an den Messungen von Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) in Ostpreußen. Er machte immer wieder Vorschläge zur Verbesserung der Landesaufnahme, die aber nicht, wie von ihm erwartet, gewürdigt wurden. In einer Niederschrift von 1868, die letztendlich auch zur Begründung eines Geodätischen Instituts diente, beklagt er nachträglich die Vorgänge, die vor 15 Jahren stattfanden: *„Die Agitation gegen meine Neuerungssucht hatte eher zu- als abgenommen. ... General von Radowitz ... und A. von Humboldt waren die einzigen Männer, die meinen wissenschaftlichen Bestrebungen Aufmerksamkeit schenkten.“* (Baeyer, 1868). Auch Alexander von Humboldts (1769-1859) Gutachten konnten die Pläne von Baeyer nicht fördern. Nach Unstimmigkeiten im preußischen Generalstab schied Baeyer 1857 aus dem Generalstab aus und wurde in Anbetracht seiner Verdienste vom König 1858 bei vollem Gehalt zur Disposition (z. D.) gestellt.

Durch seine Vermessungsarbeiten und guten Kontakte zu namhaften Gelehrten war Baeyer naturwissenschaftlich-mathematisch geprägt und hatte als General einen ausgesprochenen Sinn für die Organisation von Projekten. In seinen Vorschlägen führte er beides zusammen (Dick, 1994; 1996).

In seiner Denkschrift zur Begründung einer mitteleuropäischen Gradmessung, *Über die Größe und Figur der Erde*, stellt Baeyer zwei fundamentale Fragen, die für die Geodäsie auch heute noch grundlegend sind:

- Bleibt die Lage der Erdachse und damit die Polhöhe eines Ortes unverändert, oder verändert sie sich mit der Zeit?
- Ist die Zeit einer Umdrehung der Erde um ihre Achse immer gleich groß gewesen, oder hat sie sich geändert? (Baeyer, 1861)

Als General war es ihm wichtig, dass die Arbeiten stabsmäßig organisiert waren. So lud er im April 1862 die Regierungen Sachsens und Österreichs zu einer ersten vorbereitenden Konferenz nach Berlin ein, um ein gemeinsames Projekt mit dem organisatorischen Rahmen zu initiieren. Vorgesehen war ein großräumiges trigonometrisches Netz von Norwegen bis nach Sizilien und von London bis Königsberg (Buschmann und Kautzleben, 1987).

Nach einer zunächst ergebnislosen Abfrage der sächsischen Ministerien ordnete das Finanzministerium die sächsische Mitgliedschaft bei der *Mitteleuropäischen Gradmessung* an. Am 28. Mai 1862 tritt das Königreich Sachsen dem Projekt bei. Es werden drei *Gradmessungscommissare* berufen: die Professoren Julius Weisbach (1806-1871) von der *Königlich-Sächsischen Bergakademie zu Freiberg*, Bruhns von der Universität Leipzig und Nagel von der *Königlich-Sächsischen Polytechnischen Schule* in Dresden. Diese personelle Konstellation hat Helmerts Werdegang maßgeblich beeinflusst.

Baeyer, getrieben von der Verbitterung, dass er seine Vorstellungen zunächst nicht durchsetzen konnte, kämpfte verbissen für sein Projekt. Bereits 1864 fand mit Vertretern von 15 Staaten die *Erste Allgemeine Conferenz der Bevollmächtigten zur Mitteleuropäischen Gradmessung* in Berlin statt. Die wissenschaftliche Leitung des Projekts übernahm eine *Permanente Commission*, die Organisation oblag ab 1866 einem *Centralbüro*, dessen Direktor Baeyer war. Die *Mitteleuropäische Gradmessung* leitete den Prozess ein, wissenschaftliche Fragestellungen zum System Erde mit praktischen Anwendungen zu verbinden, die auch organisatorisch international abgesichert sind.

Auf der 2. Allgemeinen Konferenz 1867 traten weitere Staaten bei, weshalb es zu einer Umbenennung der Organisation in *Europäische Gradmessung* kam. Inhaltlich wurden physikalisch begründete Messungen in das Programm aufgenommen: Nivellements-, Schwere- und Wasserstandsmessungen. Wilhelm Foerster (1832-1921), ab 1865 Direktor der *Königlichen Sternwarte zu Berlin*, unterstützte Baeyers Vorhaben zur Organisation der Gradmessungen und Gründung eines „*Instituts für höhere Messkunde*“ von Beginn an. 1867 fertigte Baeyer gemeinsam mit Foerster eine Denkschrift *Promemoria betreffend die Organisation eines Instituts für höhere Meßkunde*, die 1870 zur Gründung des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts (KPGI) in Berlin führte.

Baeyer hatte auch zur Sicherung der Arbeiten des Zentralbüros in seiner Schrift von 1868 (Baeyer, 1868) eine wissenschaftliche *Central-Behörde* für das Vermessungswesen noch einmal begründet. In diesem Zusammenhang hatte es heftige Auseinandersetzungen zwischen Baeyer und namhaften Gelehrten, aber auch mit Ministerien, um die Ausrichtung des von ihm vorgeschlagenen wissenschaftlichen Instituts gegeben. Auf Grund unsachlicher, sehr persönlicher Angriffe von Baeyer zog Foerster sich 1868 aus dem Zentralbüro der gerade konstituierten Europäischen Gradmessung zurück und wurde erst wieder nach Baeyers Tode für die Geodäsie aktiv. Damit verlor Baeyer einen wichtigen Unterstützer. Das KPGI Berlin wurde in Mietshäusern eingerichtet. Baeyer war der erste Direktor, der er bis zu seinem Tode blieb, ebenso wie Direktor des Zentralbüros der Europäischen Gradmessung. (Buschmann, 1994a)

Bis zum Tode Baeyers gab es von da ab keine wesentlichen Entwicklungen des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts. Obwohl die Preußische Akademie der Wissenschaften (PAdW) bereits nach 1870 die Einrichtung von Observatorien auf dem *Telegraphenberg* bei Potsdam vorsah, stellte sich Baeyer gegen einen Umzug des KPGI, weil er der Meinung war, dass dann Aktivitäten des Instituts zu weit vom Akademiestandort Berlin entfernt seien und es in die wissenschaftliche Isolierung geraten werde.

Am 1. Juli 1874 wurde auf einen Vorschlag Foersters und anderer das Astrophysikalische Observatorium Potsdam (AOP) gegründet. Es war weltweit das erste seiner Art, das sich insbesondere der Sternphysik zuwandte und wurde zunächst im ehemaligen Potsdamer

Militärwaisenhaus in der Lindenstraße eingerichtet. Das Hauptgebäude auf dem *Telegraphenberg* wurde im Herbst 1879 vollendet. Das AOP war das erste Institut auf dem zukünftig bedeutenden Wissenschaftsstandort Potsdam *Telegraphenberg*.

Helmerts Schaffenszeit in Hamburg und Aachen

In den Monaten nach der Promotion in Leipzig musste Helmert Entscheidungen zur Ausrichtung seiner künftigen Tätigkeit als Geodät treffen. Aufgaben der höheren Geodäsie waren zu seinen bevorzugten Tätigkeiten geworden. Bereits am 8. Juni 1868 hatte er sich bei Baeyer um eine Anstellung im geplanten Geodätischen Institut beworben und in seinem Brief betont, dass er „... beabsichtige, Lehrer der Geodäsie zu werden oder eine entsprechende Stellung der Praxis einzunehmen.“ Deshalb schlug Helmert auch ein Angebot vom Observatorium in Leiden aus. Das KPGI wurde erst 1870 gegründet und Baeyer machte für eine vorläufige Anstellung Helmerts im Zentralbüro der Europäischen Gradmessung ein finanziell sehr ungünstiges Angebot, das Helmert nicht annehmen konnte. (Buschmann, 1993a)

Anfang 1869 „... übernahm ich meine jetzige Stellung“ - als Observator an der Sternwarte Hamburg. „Ich verließ meine Anstellung bei der Sächsischen Gradmessung wegen der guten Einrichtungen der Sternwarte und mit Rücksicht darauf, dass in Hamburg drei vorzügliche Künstler leben: der Mechaniker Johannes Repsold, der Optiker Hugo Schröder und der Chronometerfabrikant Knoblich.“ (Gast, 1921) Die Hamburger Sternwarte, im Direktorat von Dr. George Rümker (1832-1900), befand sich zu dieser Zeit noch am Millerntor (seit 1909 in Bergedorf, 1912 offiziell eingeweiht). Hauptinstrument war seit 1867 ein von A. Repsold & Söhne gebautes Äquatorial, mit dem fortlaufend von den jeweiligen – oft wechselnden – Observatoren alle hier sichtbaren Kometen sowie interessantere kleine Planeten beobachtet wurden, ebenso eine große Anzahl von Positionsbestimmungen von Sternhaufen und Nebelflecken, Doppelsternmessungen sowie von Helmert eine Ausmessung des Sternhaufens im Sobieskischen Schilde ausgeführt wurde. Helmert hat diese Arbeit 1874 als Publikation der Sternwarte Hamburg veröffentlicht (Helmert, 1874). Die Haupttätigkeit der Sternwarte war jedoch die Bestimmung der exakten Zeit. (Schorr, 1901) In Helmerts Beobachtungsbüchern finden sich viele Hinweise auf seine Tätigkeiten als Observator in Hamburg, neben den regelmäßigen Uhrenvergleichen z. B. „Uhrstand gegen Normaluhr in Sec. unbekannt, Min. richtig (Uhr blieb aus). Die Uhr schlug am letzten Faden nicht mehr, daher nach der anderen Uhr gehört, die etwa 0,15 früher schlägt“ finden sich Hinweise zu den Arbeiten mit dem Äquatorial und dem Passageinstrument: „Man sieht, dass die Temperaturänderungen von Einfluss sind, es ist auch eine grässl. Hitze in der Kuppel.“ Nachtrag in Tinte: „Weil der Fernrohrdeckel war aufgesetzt worden.“ Oder, an anderer Stelle: „Es fällt auf, dass die Stellschraube am Einstellkreis des Fernrohrs verbogen ist, was früher gewiß nicht war. Es will auch niemand zugeben, angerannt zu haben. Man muß abwarten, ob sich die Fehler geändert haben werden.“ Aber auch interessante Randbeobachtungen, wie vom Jupiter: „Jupiter zeigt sehr markierende Streifen. Recht intensiv, sehr scharf begrenzt und grau, dann ein entschieden beträchtlich ziegelrotherer Streifen, ... Auch unten schimmert etwas rötlich“ oder von Polarlicht-Erscheinungen (Stw. Hamburg).

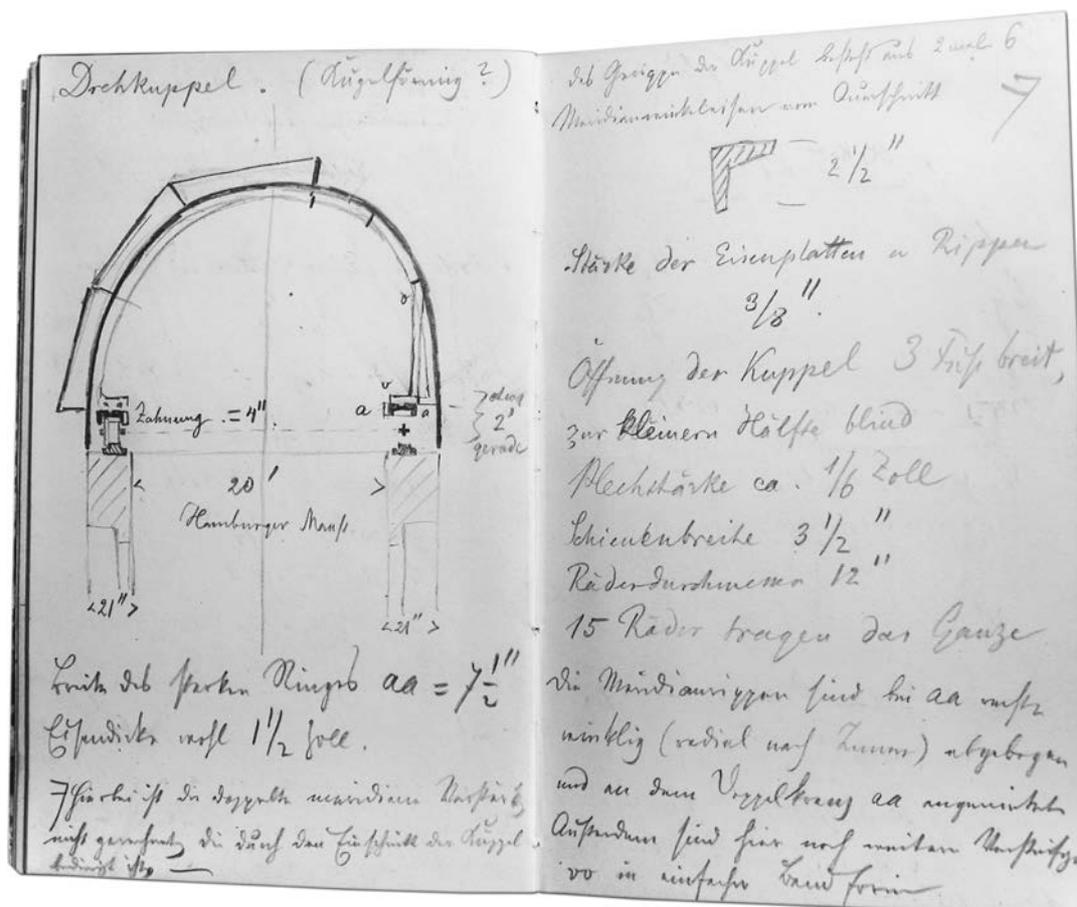


Abb. 2: Beobachtungsbuch Helmerts, Sternwarte Hamburg-Millertor (Sternwarte Hamburg-Berge-dorf, Archiv Bibliothek, Beobachtungsbücher F. R. Helmert).

Und auch die Weiterentwicklung der Messtechnik steht im Fokus seiner Überlegungen, wie Eintragungen zu einem Entwurf einer Drehkuppel für die Sternwarte zeigen (Abb. 2). In Hamburg blieb Helmert bis August 1870, nachdem er bereits im Januar als ordentlichen Lehrer nach Aachen berufen worden war.

Von der Gründung der *Königlichen Rheinisch-Westfälischen Polytechnischen Schule Aachen* zum Wintersemester 1870/71 bis Ende des Jahres 1885 war Helmert Ordinarius für Praktische Geometrie und Geodäsie (später: Praktische Geometrie und geographische Ortsbestimmung), wofür er sich mit dem in Ausschnitten zitierten Lebenslauf (Gast, 1921) bewarb. In dieser Position war er gleichzeitig Leiter der Geodätischen Sammlung und Kartensammlung (später: Leiter des geodätischen Kabinetts und der Plansammlung). Am 21. Dezember 1872 wurde er zum Professor ernannt und war 1882–1883 Wahlsenator sowie 1883–1884 Vorsteher der Abteilung II für Bauingenieurwesen und zugleich Senator der Hochschule. (RWTH, 2003) Seine Vorlesungen gliederte er in drei Blöcke: I Praktische Geometrie, beinhaltete die niedere Geodäsie; II Ausgleichsrechnung und sphärische Astronomie und III Trassieren, Landesvermessung und Erdmessung. Außerordentliche Vorlesungen hielt er – besonders in den ersten Jahren – über Theoretische Astronomie, Arithmetik und Algebra. (Gast, 1921)

Aber noch einmal kehrte Helmert zur sächsischen Gradmessung zurück. 1872 – bereits in Aachen tätig – fungierte er im August und September als „... erster Beobachter für die Keilangaben, Niveauablesungen und Lothungs-Winkelmessungen“ (Nagel, 1882) – also als

erster Beobachter bei der sächsischen Basismessung bei Großenhain (Abb. 3). Nagel arbeitete bei dieser Messung als zweiter Beobachter, Bruhns hatte die organisatorische Leitung inne. Die sächsische Grundlinie war 1865 endgültig erkundet und mit dem Bau der Endpunkte war begonnen worden. Der Krieg 1866 unterbrach diese Arbeiten und bereits 1867 – noch zu Helmerts Zeiten in Sachsen – war die Projektierung zum Bau der Eisenbahnlinie zwischen Großenhain und Cottbus fertiggestellt, die eine Verlegung der Basis um 300 m nach Norden erforderlich machte. Die Fertigstellung der Endpunkte der Grundlinie dauerte dann noch bis zum Jahresbeginn 1872.



Abb. 3: Basis-Messung in Großenhain 1872, Endpunkt West, Raschütz, Nagel (links) und Helmert auf dem Beobachtungshaus (Quelle unbekannt)

Im Oktober 1872 erhielt Helmert ein Schreiben mit einer Einladung zur Teilnahme an einer „... Expedition zur Beobachtung des Vorübergangs der Venus vor der Sonne im Jahre 1874...“, nachdem er gegenüber Bruhns, der Mitglied der Vorbereitungskommission war, ein gewisses Interesse bekundet hatte. Er lehnte nun jedoch „... nach genauer Erwägung aller Umstände ...“ mit Bedauern und zugleich um Entschuldigung bittend ab. Helmert dankt für das Vertrauen und weist darauf hin, dass er seine Verantwortung für die Ausbildung der Studenten nicht für so lange Zeit in fremde Hände geben kann, zumal auch das dafür notwendige Personal nicht zur Verfügung steht. (ABBAW 1, 1872-1874, Dokument 4) Auch einen Ruf nach Cordoba in Argentinien (1873) und die Nachfolge von Jordan in Karlsruhe (1881) lehnt er ab.

Ab 1877 war Helmert Mitglied des von der Preußischen Akademie der Wissenschaften eingesetzten wissenschaftlichen Beirats für das Geodätische Institut in Berlin und damit wieder enger mit den Belangen der Europäischen Gradmessung verbunden (RWTH, 2003).

Helmerts Beitrag zur Formierung der Disziplin Geodäsie

Geodätische Aufgabenstellungen wurden bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts von Mathematikern, Astronomen und Physikern wahrgenommen. Die Disziplin Geodäsie gab es damals

in der heutigen wissenschaftlichen Aufgabenstellung nicht. Auch Baeyer hatte mit der Europäischen Gradmessung noch kein umfassendes Bild, wie die Geodäsie zukünftig strukturiert und ausgerichtet werden sollte.

Neben Helmert nahm von den jungen Wissenschaftlern bei der Europäischen Gradmessung Ernst Heinrich Bruns (1848–1919) eine herausragende Stellung ein. Als Mathematiker, Physiker und Astronom hatte er Zugang zu den in Verbindung mit den internationalen Projekten entwickelten Theorien der Geodäsie. Nachdem er als Rechner am Observatorium Pulkowo 1872/73 und anschließend als Observator an der Sternwarte Dorpat (Tartu) tätig war, wurde er 1876 zum außerordentlichen Professor für Mathematik in Berlin berufen. Seine Tätigkeit an den beiden namhaften Zentren der Astronomie hat ihn mit Sicherheit in seiner geodätischen Ausrichtung geprägt. Pulkowo und Tartu waren wissenschaftliche Zentren der Arbeiten am Struve-Meridianbogen, einem Vorgängerprojekt zur Mitteleuropäischen Gradmessung.

Bereits im September 1877 stellte Bruns eine seiner wichtigsten Publikationen *Die Figur der Erde – Ein Beitrag zur Europäischen Gradmessung* fertig. Bruns schreibt: „... die Aufgabe der Geodäsie ist nicht die Bestimmung der mathematischen Figur der Erde, sondern die Ermittlung der Kräftefunction W , ...“ (Bruns, 1878). Bruns meint damit die Bestimmung aller Niveauflächen, also des Erdschwerefeldes als Ganzes. Sein Beitrag ist ein Meilenstein in der Entwicklung der theoretischen und physikalischen Geodäsie und unterscheidet sich maßgeblich von den Abhandlungen von Baeyer, die im Wesentlichen mathematisch ausgerichtet sind, wie es z. B. in seiner Arbeit *Das Messen auf der Sphäroidischen Erdoberfläche* zum Ausdruck kommt. (Baeyer 1862)

Zeitlich parallel zu Bruns befasst sich Helmert mit der theoretischen Geodäsie. „*Die Geodäsie ist die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche.*“ ist der erste Satz im I. Teil, *Die Mathematischen Theorieen*, seines Hauptwerkes *Die Mathematischen und Physikalischen Theorieen der Höheren Geodäsie*. Nach dem Erscheinen des I. Teils 1880 veröffentlichte Helmert den II. Teil, *Die Physikalischen Theorieen*, im Jahre 1884. Helmert kannte natürlich die Arbeit von Bruns und stand mit ihm im fachlichen Austausch. Er schreibt dazu im Vorwort: „*Die Vollendung und Herausgabe (Anm.: gemeint ist der II. Teil) verzögerte sich durch die inzwischen erkannte Notwendigkeit, eine Darstellung der mathematischen Theorieen vorzuschicken, und hatte umso weniger Eile, als 1878 H. Bruns in seiner Abhandlung „Die Figur der Erde“ einen überaus lichtvollen Grundriß der Sache gab*“ (Helmert, 1884). Helmert drang tief in die Theorie ein und hat den Weg für die korrekte Ausführung von Schwere- und Höhenmessungen bereitet.

Die Definitionen der Aufgabe der Geodäsie durch Helmert und Bruns widersprechen sich nicht. Helmert verallgemeinert und erweitert die Brunssche Aufgabenstellung der Geodäsie. Bruns Definition ist insofern auch heute noch wichtig, als dass sie die Bestimmung des Erdschwerefeldes explizit zur Aufgabe der Geodäsie macht. Helmert hat mit Bruns in grundsätzlichen Fragen uneingeschränkt übereingestimmt. Am KPGI war die Bestimmung des Schwerefeldes drei Jahrzehnte zentraler Arbeitsgegenstand Helmersts.

Helmert war auch Mitunterzeichner des Vorschlags von Hermann Struve (1854-1920), das durch den frühen Tod von Bruhns 1881 freigewordene Direktorat an der Leipziger Universitätssternwarte und die Professur an der Universität Leipzig mit Heinrich Bruns zu besetzen. Bruns konnte sich gegen namhafte internationale Kandidaten durchsetzen.

Am Königlich Preußischen Geodätischen Institut

Mit der Veröffentlichung der beiden Bände zu den Theorien der Geodäsie und der Beteiligung an vielen wissenschaftlichen Projekten hatte sich Helmert 40jährig bereits einen Spitzenplatz unter den Geowissenschaftlern erarbeitet. Darüber hinaus war Helmert durch die Korrespondenz mit General Carlos Ibáñez de Ibero (1825-1891), seit 1874 *Präsident der Permanenten Commission* und mit Adolphe Hirsch (1830-1901), seit 1866 gemeinsam mit Bruhns Sekretär und 1886 bis 1900 *Ständiger Sekretär*, seit Jahren maßgeblich mit der Leitung der Arbeiten zur *Europäischen Gradmessung* verbunden. So war er nach dem Tode Baeyers unangefochten der einzige Kandidat für die Stelle des Direktors des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts. Seine Tätigkeit nahm er, zu Beginn noch kommissarisch, am 1. Januar 1886 auf. Die wissenschaftliche Ausprägung der Preußischen Akademie der Wissenschaften in mathematisch-physikalischer Richtung beeinflusste nachhaltig die Entwicklung der Geodäsie und Geophysik.

Durch seine langjährige Tätigkeit im wissenschaftlichen Beirat waren Helmert Struktur und Arbeitsweise des KPGI unter Baeyer weitgehend bekannt, die er teilweise kritisch bewertete. Der Tod von Baeyer am 10. September 1885 stellte auch die bisherige Organisationsstruktur der *Europäischen Gradmessung* infrage.

Bereits im Frühjahr 1885, noch zu Lebzeiten Baeyers, wurde Foerster vom Kultusministerium um seine Meinung zu einer Reform des KPGI gebeten und wurde damit nach langer Zeit wieder im Interesse der Geodäsie aktiv. Später, in einem Schreiben vom 13. September 1885 aus Paris äußert er sich erneut und führt aus: *„Dieses Votum (vom Frühjahr) ist durch den Tod des General Baeyer hinfällig geworden, wenngleich einige darin enthaltene Darlegungen in Betreff der internationalen Organisation der Gradmessung oder besser „Erdmessung“ und der Folgen der ... Stellung des General Baeyer zu derselben sowie in Betreff der Beurtheilung des Berliner Central-Bureaus der Gradmessung ihre Gültigkeit behalten.“* Im folgenden Wortlaut des Briefes benennt er seine Vorstellungen über die Grundzüge der Reform des KPGI sowie die notwendigen Veränderungen, die in der Gradmessung erforderlich sind, um deren Bestand zu sichern. Foerster schlägt Helmert namentlich als neuen Direktor des KPGI vor: *„... welches (KPGI) dagegen unter der Leitung eines bedeutenden geodätischen Theoretikers, wie wir ihn z. B. in Prof. Helmert in Aachen besitzen, gestellt wird ...“*. Auch die Preußische Landesaufnahme bittet mit einem Schreiben vom 15. September 1885 an das Kultusministerium sofort darum *„... bei der Neubesetzung der durch den Tod des Gen. Lt. z. D. Baeyer erledigten Stelle in Erwägung nehmen zu wollen, ob nicht jetzt der seit Jahren bestehende unangenehme Zustand, ... zu beenden sei.“* Diese beiden Schreiben waren die Grundlagen für die weiteren Verhandlungen im Herbst 1885, um für beide Institutionen, KPGI und Gradmessung Lösungen zu finden, die deren Fortbestehen unter besseren wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Voraussetzungen zum Ziel hatten. (GStA PK 2, 1885)

Die notwendigen Veränderungen wurden von Helmert inhaltlich mitgestaltet. Er unterhält bereits langjährige wissenschaftlich-fachliche Korrespondenz zu ausländischen Gelehrten, die in ihren Ländern oft die Gradmessungsarbeiten leiteten. Am 22. Dezember 1885 erklärt er sich bereit, die provisorische Leitung des Geodätischen Instituts zu übernehmen. Es gelten die Bestimmungen, dass er *„... die Geschäfte im allgemeinen von Aachen aus führen, sich aber zeitweise zu diesem Zwecke auch in Berlin aufhalten wird.“* Als Vertretung wird Professor Otto Börsch (1817-1890), Abteilungsvorsteher im Geodätischen Institut, benannt. Er erhält eine *angemessene Kammeration ... und Entschädigung für Reisekosten* und die Mietkosten für zwei möblierte Zimmer in Berlin erstattet. Unterschrieben haben

Friedrich Althoff (1839-1908) für das Kultusministerium und Helmert. (GStA PK 1, 1885-1887)

Am 15. März 1886 fand in Berlin die Konferenz der *„Kommission für die Verhandlungen über die Reorganisation des Geodätischen Instituts“* statt, an der neben Vertretern betroffener Ministerien für das Kriegsministerium Oberst Oskar Schreiber (1829–1905) *„sowie als bewährte Fachmänner“* Professor Dr. Arthur von Auwers (1828-1915), Foerster, Helmert und Professor Dr. Karl Maximilian von Bauernfeind (1818-1894), Direktor der Technischen Hochschule München, teilnahmen. Der Einladung wurde ein *„Entwurf der Grundzüge für die Organisation des geodätischen Instituts“* als Diskussionsgrundlage beigegeben. Dieser basierte inhaltlich auf den Vorschlägen Foersters vom 13. September 1885 und enthielt bereits die wesentlichen Punkte für den Erhalt und die wissenschaftliche Ausrichtung des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts (ABBAW 2, 1884-1888, Dokument 5):

1. Die Direktion des KPGI wird mit einer Professur an der Universität Berlin verbunden. Damit wurden die wissenschaftliche Tätigkeit des Instituts hervorgehoben und die internationalen Beziehungen erleichtert.
2. Der wissenschaftliche Beirat wird aufgehoben, da ein Gelehrter an der Spitze steht und das Institut Anstalt der Universität wird.
3. *„Der Wettstreit zwischen Geodätischem Institut und der Landes-Aufnahme hört auf.“* Das KPGI betreibt die wissenschaftliche Bearbeitung der trigonometrischen und Nivellements-Arbeiten, die von der Landesaufnahme durchgeführt und ausgewertet werden. Wünsche des KPGI bzgl. Anordnung und Genauigkeit sollen Berücksichtigung finden.
4. Eigene Messungen können durch das KPGI ausgeführt werden, wenn die Landesaufnahme dazu nicht in der Lage ist. Veröffentlichungen zu den Ergebnissen sind vorher abzustimmen.
5. Das KPGI soll rechnerische und experimentelle Untersuchungen zu Vermessungsarbeiten *„anstellen, um einzelnen Landes-Verwaltungs-Ressorts auf Erfordern geeigneten gutachtlichen Rath ertheilen zu können“*.
6. Für das Institut sind geeignete Räumlichkeiten, vorzugsweise als Neubau auf dem Telegraphenberg bei Potsdam, zur Verfügung zu stellen.
7. Das KPGI wird seine Arbeit für die internationale Erdmessung weiterführen und soll weiterhin das Zentralbüro betreiben.

Das Protokoll der Konferenz, von Helmert gefertigt, stellt fest: *„Die Vorlage ist hiermit bis auf Nummer 6 des Entwurfs, welcher von dem Vorsitzenden als nicht hierhergehörig ausgeschieden wird, mit allseitiger Zustimmung erledigt.“* Vorschläge für einen anderen Namen für das Geodätische Institut oder längere Diskussionen zur weiteren Untersetzung der Festlegungen in den Punkten 3 und 4 (u. a. Vermeidung von Doppelmessungen) oder die Abgrenzung der Zuständigkeit der Gutachtertätigkeit (Punkt 5) dienten vorrangig der Findung einheitlicher Standpunkte und änderten nichts mehr am Inhalt der Reorganisation des Geodätischen Instituts. (GStA PK 1, 1885-1887)

Am 26. Mai 1886 fanden die *„Verhandlungen der Plenar-Versammlung des Wissenschaftlichen Beiraths“* (Teilnehmer: Auwers, Helmert, Hermann von Helmholtz (1821-1894), Leopold Kronecker (1823-1891) und Werner von Siemens (1816-1892)) des KPGI in Berlin statt, zusätzlich anwesend waren die Sektionschefs des Instituts. Neben den regelmäßigen Johannes Ihde und Andreas Reinhold

Vorlagen (A), die die Berichterstattung über die Arbeiten im letzten Jahr (1885) und den allgemeinen Arbeitsplan für 1886 betreffen, gibt es drei außerordentliche Vorlagen (B), von denen besonders B3 die in Diskussion befindlichen Änderungen der Organisationsstruktur im KPGI und der *Internationalen Erdmessung* betreffen:

B1. *Übersicht der Arbeiten des Geodätischen Instituts unter General-Lieutenant z. D. Dr. Baeyer.*

B2. *Allgemeiner Arbeitsplan für die nächsten zehn Jahre.*

B3. *Mittheilungen über die Verhandlungen in Betreff der Reorganisation des Instituts.*

Helmert ist mit konkreten Vorstellungen über die weitere wissenschaftliche Arbeit des Instituts nach Berlin gekommen, die er, auf der Grundlage einer Analyse der bisherigen Arbeit, auch schnell umzusetzen versucht. Während die jährlichen Abrechnungen und Vorschläge (A) in üblichen Verhandlungen abgearbeitet und bestätigt werden, „entwickelte sich eine lebhafte Debatte bei Vorlage B2 und B3, welche zu folgender Erklärung des Beiraths führt: Der Beirath lehnt es ab, über Pos. B3 sich gutachtlich zu äussern, da die betreffenden Verhandlungen ohne Mitwirkung der Akademie resp. des Beiraths geführt sind und deren Resultate noch nicht zur Kenntnis der Akademie gebracht sind.“ Da von der neuen Organisationsstruktur auch der langfristige Arbeitsplan betroffen ist, sind drei Mitglieder des Beiraths auch gegen dessen Begutachtung. Vorlage B3 wird nicht in den Protokollen zu den Verhandlungen veröffentlicht. (Helmert, 1886)

Foerster, Schreiber, Althoff und Helmert hatten nur wenige Wochen Zeit, um richtungweisende Dokumente für das KPGI und die Gardmessung zu erarbeiten und mit Entscheidungsträgern zu diskutieren, in manchem Falle auch ohne alle zu erreichen. Die vorgesehene Zuordnung des KPGI zur Universität Berlin und der damit verbundene Kompetenz- und Kontrollverlust war sicherlich für die Akademie nur schwer zu akzeptieren. Am 1. Juli 1886 übernahm Helmert die kommissarische Direktion des Geodätischen Instituts, dies wurde auch dem Rektor der TH Aachen mitgeteilt. Helmert und Foerster arbeiteten gemeinsam ein Statut für das KPGI aus, das mit Datum 15. Januar 1887 gedruckt vorlag und das alte Statut von 1877 ablöste. (GStA PK 1, 1885-1887)

Am 15. April 1887 erfolgt die Bestallung Friedrich Robert Helmerts zum ordentlichen Professor der Philosophischen Fakultät der Friedrich-Wilhelms Universität Berlin und damit zum Direktor des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts. Im April und Mai 1887 zog er von Aachen nach Berlin um. (GStA PK 1, 1885-1887)

Die Integration des Instituts in den Behördenapparat der Landesverwaltung verlangte eine deutlich aufwändigere Planung und Zusammenarbeit, als Helmert dies aus seiner Zeit in Aachen gewohnt war. Letztlich setzte sich aber diese neue Struktur mit der Einweihung des neuen Geodätischen Instituts in Potsdam endgültig durch.

Die zweite wichtige Frage war, wie es mit der internationalen Kooperation weitergehen sollte. Seit Mitte der 1870er Jahre hatten auch außereuropäische Institutionen ihr Interesse an der *Europäischen Gradmessung* bekundet. So war die U. S. Coast and Geodetic Survey seit 1877 Beobachter auf den Allgemeinen Konferenzen.

Auf der Grundlage der Diskussionen um die Ausrichtung des Geodätischen Instituts und der Entwicklung der Erdmessung legte Foerster in einem Brief aus Neuchâtel vom 19. April 1886 seine – mit Hirsch und wohl auch Ibáñez abgestimmten – Vorstellungen von der künftigen Stärkung der Organisationsstruktur der internationalen Erdmessung dar: *Wir sind in den letzten Monaten in Berlin nicht müßig gewesen, sondern haben zunächst die*

künftige nationale Stellung des geodätischen Instituts, dessen Direktion Prof. Helmert übernimmt, gesichert. Das Zentralbüro soll im bisherigen Umfang beim KPGI belassen werden, aber unter größerem Einfluss der *Permanenten Commission* stehen, die für dessen internationale Arbeiten die Funktion des Beirats einnehmen soll. Die *Permanente Commission* soll durch Beiträge der Mitgliedsländer mit Finanzmitteln ausgestattet werden, mit denen ein *Ständiger Sekretär* bezahlt und auf Beschluss der *Permanenten Commission* wissenschaftliche Arbeiten der Gradmessung unterstützt werden sollen. Mit dieser internationalen Finanzierung der Arbeiten werden die Mitgliedsstaaten stärker an die Organisation gebunden und in die Formulierung der wissenschaftlichen Zielstellungen einbezogen. (AB-BAW 3, 1884-1888, Dokument 6)

Auch die Änderungen in der Organisationsstruktur der Erdmessung wurden für vorerst zehn Jahre auf der 8. Allgemeinen Konferenz Ende Oktober 1886 angenommen. Die auf der Konferenz beschlossene „*Uebereinkunft betreffend die Organisation der internationalen Erdmessung vom October 1886*“ umfasste die in Foersters Brief bereits genannten wesentlichen Änderungen. Auf der Konferenz wird General Carlos Ibáñez de Ibero zum Präsidenten der *Permanenten Commission* gewählt, Mitglied und Direktor des *Centralbüros* wird Helmert (Hirsch, 1887). Helmerts internationalem Renommee ist es auch zu verdanken, dass das *Centralbüro* der in diesem Jahr in *Internationale Erdmessung - IE* („*L' Association Geodesique Internationale*“) umbenannten Organisation weiter am Königlich Preußischen Geodätischen Institut angesiedelt wurde. Schon vor 1886 wurde in Schreiben oft von *Internationaler Erdmessung* statt *Europäischer Gradmessung* geschrieben. Mit den Beitritten von Chile, Mexiko und Japan 1888 wurde die internationale Ausrichtung endgültig bestätigt, 1889 gehörten der IE 25 Staaten an. (Völter, 1963)

1892 wurde das Hauptgebäude des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts auf dem Telegraphenberg fertiggestellt, sodass der Umzug von Berlin nach Potsdam erfolgen konnte. Anschließend wurden die Gebäude für das Geodätisch-Astronomische Observatorium für Breiten- und Zeitbestimmungen und der Turm für Winkelmessungen gebaut. Die Breiten- und Zeitbestimmungen erlangten große Bedeutung für das Geodätische Institut. Über Messungen auf dem Turm hat Helmert erstmalig 1899 berichtet (Helmert, 1899). Der Turm erreichte wohl keine vergleichbare Beachtung bei den Programmen wie die anderen Messeinrichtungen.

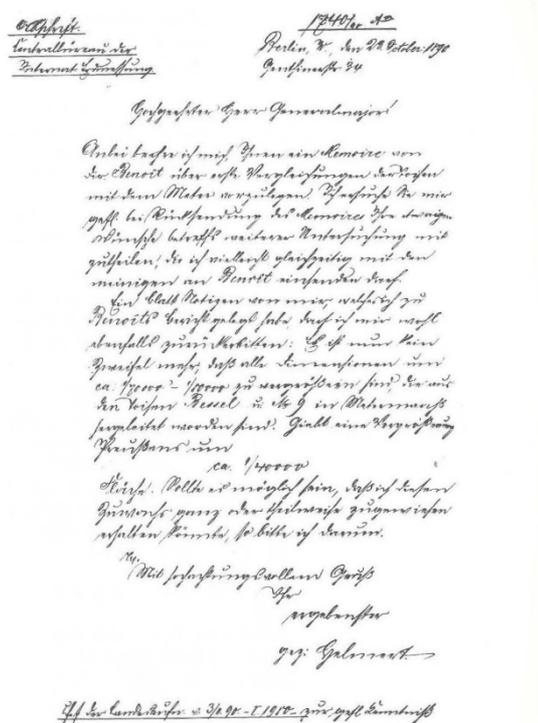
Die Laboratorien waren nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und technischen Möglichkeiten geplant und gebaut worden, um künftigen Anforderungen gerecht zu werden. Der Pendelsaal im Keller des Hauptgebäudes wurde temperaturstabilisiert und mit Messpfeilern für die geplanten Reversionspendelmessungen ausgestattet.

Helmert fand auf dem Telegraphenberg hervorragende Arbeitsbedingungen. Er bezog eine Dienstwohnung im Haupthaus des KPGI, das ursprünglich geplante Wohnhaus des Direktors des Geodätischen Instituts war nicht realisiert worden. Wichtig war aber zweifellos die Atmosphäre, die von der Wirkung großer Wissenschaftler seiner Zeit und der Ansiedlung von Instituten ausging, die stark mathematisch-physikalisch geprägt waren. Heute würde man sagen: Der Rahmen war die beste Voraussetzung für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit. Auch wenn die Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR) 1887 in Berlin angesiedelt wurde, hatte sie doch als metrologische und naturwissenschaftliche Forschungsanstalt unter ihrem ersten Präsidenten Hermann von Helmholtz einen erheblichen Einfluss auf die physikalische Ausrichtung der Arbeiten der Potsdamer Wissenschaftler und umgekehrt.

Für die Geodäsie hatte die PTR als erste deutsche Großforschungseinrichtung in Fragen der Maßeinheiten für Länge und Zeit grundsätzliche Bedeutung. Das hat sich in der Sache mit der Nachfolgeeinrichtung, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, bis heute nicht geändert. Und es ist auch programmatisch, dass das Geodätische Institut als Abteilung Geodäsie des Deutschen GeoForschungsZentrums am Helmholtz-Zentrum in Potsdam angesiedelt ist.

Helmert war auch mit der Vereinheitlichung der Längenmaße befasst, was er exakt vollzog. 1872 wurde im Deutschen Reich das metrische System eingeführt. Die vorliegenden Messungen mussten von alten Maßeinheiten umgerechnet werden. 1890 schreibt er an den Chef der preußischen Landesvermessung, Generalmajor Schreiber, wovon eine eigenhändige Abschrift erhalten geblieben ist:

Abschrift 1740/90/A
Centralbüreau der Berlin, W. den 28 October 1890
Internat. Erdmessung Genthinerstr. 34



Seine Berufung als ordentliches Mitglied in die Preußische Eichkommission war nur eine konsequente Fortsetzung bei der Entwicklung der Geodäsie zur exakten Wissenschaft (Peschel, 1967). Noch heute ist die enge Verbindung von Metrologie und Geodäsie der Garant für genaue und einheitliche geodätische Messungen und Berechnungen weltweit. Helmert hatte, im Gegensatz zu Baeyer, eine gute Verbindung zur preußischen Landesvermessung und zur Akademieleitung - und muss auch bei diesem Text ein gutes Stück Humor besessen haben.

Baeyer hatte in seiner Denkschrift Über die Größe und Figur der Erde bereits 1861 die Frage nach der zeitlichen Veränderung der Lage der Rotationsachse im Erdkörper formuliert (Baeyer, 1861). Die im Rahmen der Europäischen Gradmessung durchgeführten astronomischen Beobachtungen gaben Hinweise darauf. Seit der 7. Allgemeinen Konferenz 1883 in Rom wurde die Beobachtung der Polbewegung mittels simultaner Breitenbeobachtungen diskutiert. 1888 schlug Foerster der Permanenten Commission vor, die Breitenva-

riation systematisch zu untersuchen, nachdem Karl Friedrich Küstner (1856–1936) bei seiner Arbeit als Observator an der Berliner Sternwarte den Nachweis dafür erbracht hatte. Helmert engagierte sich als Direktor des Zentralbüros für die Gründung einer internationalen permanenten Einrichtung zur Beobachtung der Polbewegung durch Breitenbeobachtungen. Helmert berichtete auf den Allgemeinen Konferenzen und den jährlichen Konferenzen der *Permanenten Commission* über Ergebnisse der Breitenmessungen. Auf der 11. Allgemeinen Konferenz in Berlin 1895 wurde die Vertragsbasis der *Internationalen Erdmessung* erneuert. Das jährliche Budget wurde auf 60.000 Mark angehoben. Eine neue *Special Commission* unter Leitung von Carl Theodor Albrecht (1843-1915) wurde eingerichtet, um ein Konzept eines Internationalen Breitendienstes auszuarbeiten. 1898, auf der 12. Allgemeinen Konferenz in Stuttgart, unterbreiteten Helmert und Albrecht Vorschläge für den Breitendienst. Sie wurden modifiziert, aber schließlich durch die Delegierten angenommen (Helmert, 1913).

1899 begann der *Internationale Breitendienst* (ILS) mit fünf Observatorien auf 39° Breite offiziell seine Arbeit. Es war ein historischer Moment für die Geowissenschaften. Der ILS war die erste permanente weltweite wissenschaftliche Kooperation. Albrecht leitete das Zentralbüro des ILS am KPGI zur Vorbereitung von Beobachtungsprogrammen und der Durchführung von Datenreduktionen (Helmert und Albrecht, 1898b). Die Beobachtungen erfolgten zunächst nach der Methode Horrebow-Talcott. Von 1922 bis 1935 befand sich das Zentralbüro des ILS an der Internationalen Breitenstation Mizusawa (Japan). Daraus ging der International Polar Motion Service (IPMS) und ab 1988 der International Earth Rotation Systems Service (IERS), heute bezeichnet als International Earth Rotation and Reference Systems Service, hervor. Der IERS ist ein gemeinsamer Dienst der IAG, IUGG und der Internationalen Astronomischen Union (IAU). Das Zentralbüro hat im Jahre 2000 das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) übernommen.

Als Direktor des Geodätischen Instituts und auf Grund seiner wissenschaftlichen Arbeiten war Helmert Anwärter auf Mitgliedschaft in der Preußischen Akademie der Wissenschaften. Im von Auwers unterzeichneten Protokoll der Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 11. Februar 1892 findet sich unter Punkt 7 der Eintrag: „Schließlich fanden die in der vorigen Sitzung angekündigten Wahlen ordentlicher Mitglieder statt“ Hermann Karl Vogel (1841-1907), Wilhelm Dames (1843-1898) und Helmert. Alle drei Kandidaten wurden von der Klasse gewählt. Helmert, am 21. Januar 1892 von Auwers unter Mitzeichnung von Hermann von Helmholtz, Johann Friedrich Wilhelm von Bezold (1837-1907) und August Kundt (1839-1894) vorgeschlagen, erhielt bei der Wahl zwölf weiße und sieben schwarze Kugeln. Alle drei Professoren wurden von der Klasse dem Plenum der Akademie als ordentliche Mitglieder vorgeschlagen. (ABBAW 4, Dokument 7) Bei der Wahl im Plenum der Akademie am 3. März 1892 erreichte Helmert jedoch nicht die notwendige Stimmenzahl. Helmert reichte zur Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse am 9. April 1896 die Mitteilung *Ergebnisse der Messungen der Intensität der Schwerkraft auf der Linie Colberg-Schneekoppe* ein, die von Prof. Dames überreicht wurde (Akademie-Vorträge, 1993).

Im Jahre 1897 wurde Friedrich Robert Helmert als Korrespondierendes Mitglied in die Physikalisch-Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse der Königlichen Akademie der Wissenschaften in Rom aufgenommen (Abb. 4).

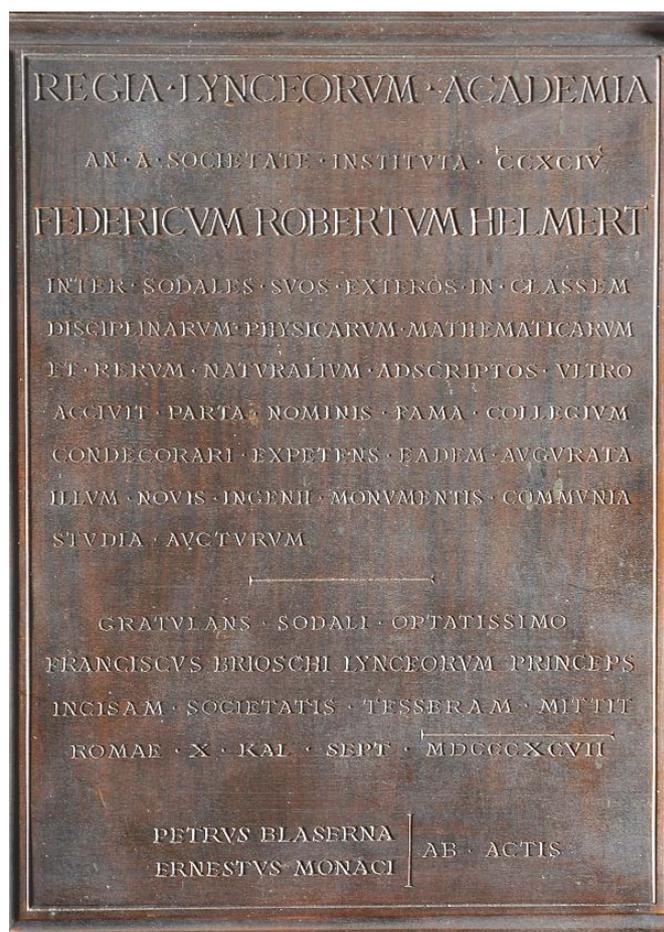


Abb. 4: Ehrentafel:

„Die Königliche Akademie der Wissenschaften hat im 294. Jahre nach ihrer Gründung Friedrich Robert Helmert unter die Korrespondierenden Mitglieder der Physikalischen-Mathematischen-Naturwissenschaftlichen Klasse aufgenommen, nachdem er seinem Namen Ruhm verschafft hat in dem Bestreben, das Kollegium zu zieren und in der Erwartung, dass er durch neue Beweise seiner Begabung die gemeinsamen Forschungen bereichern werde. Mit herzlichen Glückwünschen für den hochwillkommenen Kollegen übersendet der Leiter der Akademie, Francesco Brioschi, die beschriebene Tafel. Rom, den 23. August 1897.
(Quelle: Privatbesitz)

Der erneute Wahlvorschlag für Helmert zum ordentlichen Mitglied vom 16. November 1899 von Hermann Karl Vogel und mitgezeichnet von den Professoren Friedrich Kohlrausch (1840-1910), von Bezold, Ferdinand von Richthofen (1833-1905) und Lazarus Immanuel Fuchs (1833-1902) wird auf der Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse am 30. November 1899 mit

neunzehn weißen gegen eine schwarze Kugel bestätigt. (Akademie-Vorträge, 1993) Bei der Plenumssitzung am 7. Dezember 1899 erhält Helmert von allen 30 Teilnehmern weiße Kugeln und die Zustimmung, ordentliches Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu werden. Die Bestätigung durch Wilhelm II. erfolgte am 31. Januar 1900. Die entsprechende Mitteilung an Helmert erging am 15. Februar 1900, worauf er mit Schreiben vom 18. Februar 1900 u. a. antwortet: „Der Akademie für meine Wahl zu danken, werde ich ja später Gelegenheit haben, zunächst hoffe ich mich am nächsten Donnerstag zur Gesamtsitzung einfinden zu können.“ (ABBAW 5, Dokument 8)

Am 28. Juni 1900 hielt Robert Helmert auf der öffentlichen Sitzung zur Feier des Leibnizschen Jahrestages der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften seine Antrittsrede, in der er zu seinem Werdegang als Geodät und zum Stand und den Schwerpunkten der geodätischen Erdforschung vortrug. Er dankte für die wohlwollende Beurteilung seiner Arbeit und schloss dabei die Worte ein: „Ein ungewöhnliches Ereignis ist es, dass in der Königlichen Akademie der Wissenschaften ein Vertreter der Geodäsie seinen Eintritt als ordentliches Mitglied öffentlich bekunden kann. ... Diese Wahl ... ist ein Zeichen der Werthschätzung der Geodäsie als eines selbständigen Wissensgebietes von solchem Umfange, dass ihre besondere Vertretung erwünscht erscheint.“ (Akademie-Vorträge, 1993)

1898 erschien die Publikation *Beiträge zur Theorie des Reversionspendels* von Helmert (Helmert, 1898a). In diesem Jahr begannen auch die Pendelmessungen von Kühnen und Furtwängler. Nach Reduktion der Beobachtungen wurde eine Ausgleichung nach einem Ansatz von Helmert ausgeführt. Die Ergebnisse wurden 1906 veröffentlicht (Kühnen und Furtwängler, 1906; Höpfner, 2012). Der ermittelte Schwerewert $g = 981274 \pm 3 \text{ mGal}$ bezieht sich auf den Absolutpfeiler S0 in einer Höhe 87,00 m ($1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$).

1909 wurde nach einem Vorschlag von Helmert auf der Konferenz der *Internationalen Erdmessung* in Cambridge (Großbritannien) das Potsdamer Schweresystem mit dem von Kühnen und Furtwängler bestimmtem Absolutwert eingeführt (Abb. 5). Es war das erste internationale Schwerereferenzsystem. Helmert hat die Durchführung der Messungen seinen Mitarbeitern übertragen, dennoch kann er als „Vater“ des Potsdamer Schweresystems bezeichnet werden. (Elstner et al., 1997)

Nachmessungen des Geodätischen Instituts am Zentralinstitut für Physik der Erde (ZIPE) ergaben 1968/69 einen um 14 mGal niedrigeren Wert: 981 260,1 +/- 0,3 mGal (Schüler et al., 1971). Das Potsdamer Schweresystem wurde 1971 mit einer Resolution der 15. Generalversammlung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik in Moskau durch das International Gravity Standardization Net (IGSN 71) abgelöst; die Folge war, dass Millionen von Schwereanomalien korrigiert wurden. Eine Gesamtdarstellung ist bei Höpfner (2012) zu finden.

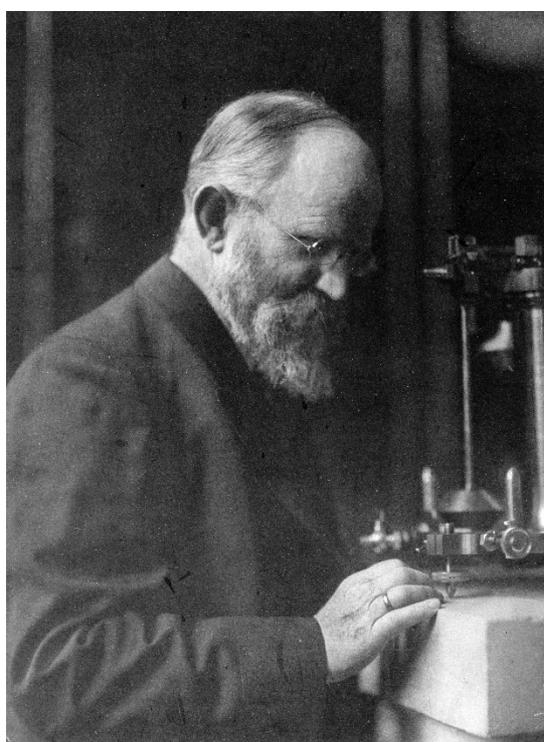


Abb. 5: Friedrich Robert Helmert an einem Relativ-Pendelgerät (Humboldt Universität Berlin, @Humboldt-Universität zu Berlin, Universitätsbibliothek).



Abb. 6: Urkunde des Deutschen Museums München über die Mitgliedschaft von Friedrich Robert Helmert im Ausschuss des Museums, 1912 (Quelle: Privatbesitz)

Im Jahr 1912 würdigte das Deutsche Museum in München seine Verdienste um die Entwicklung von Naturwissenschaft und Technik mit der Aufnahme Helmerts als lebenslanges Mitglied in den Ausschuss des Museums (Abb. 6).

Jährlich trug Helmert in der Akademie über seine Arbeiten vor und las zusätzlich Ergebnisse der Arbeiten von Wissenschaftlern, die er initiiert hatte. Die meisten seiner Vorträge befassen sich mit der Messung und Reduktion der Schwere, der Modellierung des Geoides sowie von Dichteverteilungen und Massenänderungen. Ein zweiter Themenkreis war den Erddimensionen gewidmet. Zum Beispiel trug Helmert am 12. Januar 1911 seine Arbeit *Über die Genauigkeit der Dimensionen des HAYFORDSchen Erdellipsoids* vor. Eine sehr gute

Dokumentation und Kommentierung der Akademievortr ge von Helmert liegt in einer modernen Ausgabe vor (Akademie-Vorträge, 1993; Harnisch und Harnisch, 1993).

Helmert war Antragsteller oder Mitunterzeichner der Anträge für die korrespondierende Mitgliedschaft in der Preußischen Akademie der Wissenschaften von George Howard Darwin (1845-1912) 1908, Lorand Eötvös (1848-1919) im Jahre 1909 und Emil Wiechert (1861-1928) im Jahre 1911 sowie für die ordentliche Mitgliedschaft von Karl Schwarzschild (1873-1916) im Jahre 1912.

Am Geodätischen Institut konnte Helmert seine Ideen und Theorien in Projekten in großer Breite anwenden. Die Vielzahl der wissenschaftlichen Aufgaben, Projekte und Veröffentlichungen, die Briefwechsel und Arbeitsanweisungen, die zu der damaligen Zeit noch handschriftlich erfolgten, die umfangreichen Verwaltungsaufgaben und nicht zuletzt die Arbeiten des Zentralbüros lässt die erforderliche Arbeitsintensität nur erahnen. Bei mehr als 100 Publikationen war Helmert alleiniger Autor. Als Direktor des Geodätischen Instituts und des Zentralbüros der Internationalen Erdmessung zeichnete er für nahezu hundert Berichte verantwortlich (Höpfner, 2013a).

Die unermüdliche harte Arbeit zehrte an Helmerts Kräften. Am 21. Oktober 1915 hielt Helmert seinen letzten Akademie-Vortrag, *Neue Formeln für den Verlauf der Schwerkraft im Meeresniveau beim Festlande* (Akademie-Vorträge 1993). Noch am gleichen Tag schrieb er ein Gesuch an die Akademie (ABBAW 6):

Potsdam, d. 21. Oktbr. 1915.

Das hochgeehrte Sekretariat
ersuche ich ganz ergebenst mich nicht mehr in die
Leseliste aufzunehmen, da mein mangelnder Gesundheitszu-
stand
mich in meinen Arbeiten sehr behindert. Mit Rücksicht auf
den Umstand, daß ich im 73sten Lebensjahr stehe, dürfte
mein Ersuchen wohl Genehmigung finden.

Hochachtungsvoll

F. R. Helmert.

Potsdam, d. 21. Oktbr. 1915
234
258
Berzgr. 23. 10. 15
gegr. 4. 11. 15
Das hochgeehrte Sekretariat
ersuche ich ganz ergebenst mich nicht mehr in die
Leseliste aufzunehmen, da mein mangelnder Gesundheitszustand
mich in meinen Arbeiten sehr behindert. Mit Rücksicht auf
den Umstand, daß ich im 73sten Lebensjahr stehe, dürfte
mein Ersuchen wohl Genehmigung finden.
F. R. Helmert.

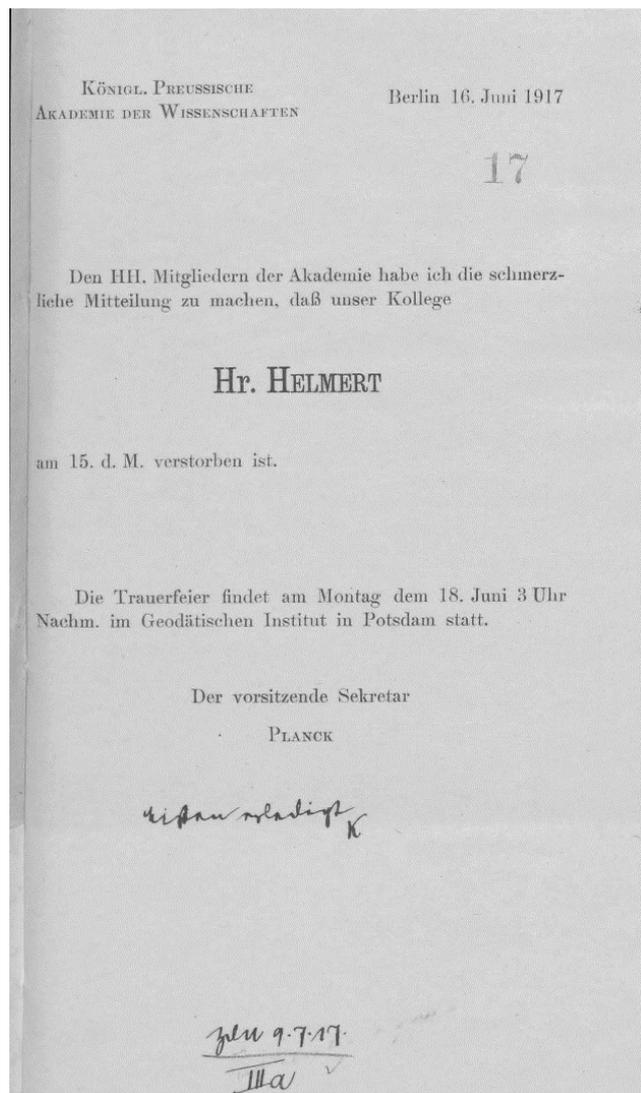


Abb. 7: Traueranzeige der Akademie der Wissenschaften für Prof. Helmert vom 16. Juni 1917 (ABBAW 7).

Das letzte Mal sandte Helmert entsprechend dem Statut des Geodätischen Instituts vom 15. Januar 1887 seinen Jahresbericht für die Arbeiten des Geodätischen Instituts an das *Ministerium für geistliche und Unterrichts- Angelegenheiten* am 25. Mai 1916. Helmert war zuverlässig und sachkundig in seiner Zusammenarbeit mit dem Ministerium, was dort sehr geschätzt wurde.

Nach einem Schlaganfall im August 1916 verstarb Helmert am 15. Juni 1917 in Potsdam. Sein Tod wurde mit einem Telegramm an die Akademie angezeigt:

heute morgen ist der direktor des geodaetischen instituts professor helmert verschieden. trauerfeier montag 3 Uhr im geodätischen institut in potsdam = professor krueger (ABBAW 7).

Der Niedergang des Geodätischen Instituts Potsdam (GIP)

Die Findung des Nachfolgers für Helmert als Direktor des Geodätischen Instituts gestaltete sich ähnlich schwierig wie davor die Besetzung der Direktorenstelle des Astrophysikalischen Observatoriums nach dem Tode von Karl Schwarzschild. Helmert war noch 1916 gemeinsam mit Max Planck (1858-1947) und Albert Einstein (1879-1955) Mitglied der Berufungskommission. Nun musste 1917 auch seine Stelle des Direktors des Geodätischen Instituts nachbesetzt werden.

Auf der Grundlage eines Ministerialerlasses vom 17. Juli 1917 wurde noch im gleichen Monat eine Kommission für die „Wiederbesetzung der durch den Tod von Helmert erledigten Stelle des Direktors des Geodätischen Instituts“ (ABBAW 8) mit 8 Mitgliedern gebildet. Den Vorsitz übernahm der ständige Sekretär der Akademie, Max Planck. Später wurde Einstein hinzugewählt. Die Diskussion über die Nachfolge verlief kontrovers und zog sich Jahre hin. Man war sich auch im Klaren, dass die Vollendung der zentralen Arbeiten von Helmert als Beitrag zur Europäischen und Internationalen Erdmessung gefährdet war. Die Bedeutung der einzelnen Arbeitsgebiete von Helmert wurde unterschiedlich eingeschätzt. Man war sich aber einig, dass die Lotabweichungs- und Geoidbestimmungen zentral waren. Das Potsdamer Schweresystem wird nicht erwähnt, möglicherweise weil man es nicht direkt mit Helmert in Zusammenhang brachte.

Eine grundsätzliche Frage war, ob es ein Geodät, ein Geophysiker sein sollte oder ob es wichtiger sei, einen namhaften Wissenschaftler, weitgehend unabhängig von dessen Ausrichtung, für das Amt vorzuschlagen. Schlussendlich kam man zum Standpunkt, „...wonach unter den gegenwärtigen vorliegenden Verhältnissen der Hauptnachdruck auf die Gewinnung eines hervorragenden Gelehrten zu legen ist ...“ (ABBAW 14, Blatt 61, Dokument 11). Nachträglich muss man einschätzen, dass die personellen und finanziellen Gegebenheiten, auch unabhängig von der Besetzung, zunächst leider keine Fortsetzung der bisherigen Komplexität gestattete.

Nachdem die Kandidaten Krüger (Potsdam), Hecker (Strassburg), Schweydar (Potsdam), Kohlschütter (Berlin) und Schumann (Wien) für eine Nachfolge wegen ihrer Spezialisierung auf engbegrenzte Gebiete und fehlender wissenschaftlicher Autorität als ungeeignet angesehen wurden, wurde bereits im November 1917 der Geophysiker Emil Wiechert aus Göttingen vorgeschlagen. Wiechert wurde hohes wissenschaftliches Ansehen attestiert, sodass ihm die Wahrung der führenden Stelle des Potsdamer Instituts zugetraut wurde. Die Majorität der Kommission hatte die Begründung gezeichnet (ABBAW 9, Dokument 9). Nur nicht Albrecht Penck (1858-1945) (ABBAW 10), der vier Tage später in einem Gegenent-

wurf den Geodäten Ernst Kohlschütter (1871-1942) vorschlug. Er meinte auch, dass Helmerth sich bereits zu Lebzeiten für Kohlschütter ausgesprochen habe. Und er beginnt sein Plädoyer mit einer Betrachtung des Verhältnisses zwischen Geodäsie und Geophysik: *„Sein (Helmerts) großes Verdienst ist es, die neuere Geodäsie in engere Fühlung mit der Geophysik gebracht zu haben. ... verwischt sind die Grenzen von Geodäsie und Geophysik nicht. Für ihn (Helmert) blieb diese immer nur Hilfswissenschaft und unverrückt standen im Vordergrund seiner Untersuchungen die seit Jahrhunderten als eigentliche Aufgaben der Erdmessung geltenden.“* (ABBAW 11, Dokument 10).

Letztendlich wurde doch Wiechert angefragt, der aber umgehend ablehnte. Das Ministerium beauftragte im Mai 1918 die Akademie mit der Betrachtung der Professoren Runge (Göttingen) und Finsterwalder (München) (ABBAW 12). Von der Kommission wurde Runge zu alt befunden, sodass im nächsten Schritt 1918 Sebastian Finsterwalder (1862-1951) vorgeschlagen wurde (ABBAW 13 und 14, Dokument 11). Die Besetzung kam aber nicht zustande.

Erst nach fünf Jahren kam es zu einer Wiederbesetzung der Direktorenstelle. Mit Erlass vom 20. März 1922 wurde Professor Kohlschütter zum Direktor des Geodätischen Instituts ernannt (ABBAW 15, Dokument 12). Kohlschütter bemühte sich, die Arbeiten von Helmerth weiterzuführen. Auf Antrag von Kohlschütter beschloss 1924 der Beirat für das Vermessungswesen, den Beobachtungsturm des Instituts nach Friedrich Robert Helmerth zu benennen.

Das Geodätische Institut Potsdam entwickelte sich in den folgenden Jahren nicht gleichermaßen wie zu Helmerths Zeiten. Der im Versailler Vertrag am Ende des Ersten Weltkriegs Deutschland auferlegte Verzicht, in internationalen wissenschaftlichen Vereinigungen mitzuarbeiten, führte dazu, dass das Geodätische Institut in Potsdam nicht mehr als Zentralbüro der Internationalen Erdmessung wirken konnte. Aufgrund der längeren Defizite in der Finanzierung und Leitung des Instituts konnten auch viele Entwicklungsarbeiten nicht wie vorgesehen fortgesetzt werden (Buschmann, 1993b).

Die Akademieleitung hatte den mit einem Jahr Verzug eingereichten Jahresbericht 1925/26 des Instituts hinsichtlich geringer Anzahl von Veröffentlichungen, der Konzentration auf kleinere Arbeiten und den Umgang mit Instrumenten kritisch kommentiert (ABBAW 16). In einer Antwort erläutert und analysiert Kohlschütter die Situation und Ursachen für den Zustand seiner Einrichtung. Einen breiten Platz nimmt die Rechtfertigung des geringen Umfangs an Lotabweichungs- und Schweremessungen ein. Gründe waren fehlende finanzielle Mittel, unkoordiniertes Arbeiten, aber auch langsames Beobachtungstempo und nicht sachgemäße Bearbeitung der Daten. Den Berichtsteil zum Zustand der Baulichkeiten und Instrumentarien beginnt Kohlschütter: *„Infolge der Schwierigkeiten der Kriegs- und Nachkriegszeit war das Institut stark verwahrlost.“* Und weiter: *„Infolge schlechter Konstruktion hatte der Helmerth-Turm in besonderen Maße gelitten, sodaß das Hochbauamt mit Zustimmung meines Herrn stellvertretenden Vorgängers ihn völlig zur Ruine werden lassen wollte.“* (ABBAW 17). Ein generelles Problem am Institut war ein starker Wechsel des wissenschaftlichen Personals und dass jüngere Mitarbeiter noch nicht in der Lage waren, größere Arbeiten fertig zu stellen, die zur Veröffentlichung geeignet waren. Die Kräfte der erfahrenen Mitarbeiter wurden benötigt, um den Nachwuchs in die Institutsaufgaben einzuführen. Insgesamt geht aber nicht hervor, wie die alte Größe des Instituts wieder hätte erreicht werden können.

Der Weg in die Jetztzeit

Inzwischen hatten sich die Ansätze von Helmert zur Konzipierung der Disziplin Geodäsie national und international soweit verfestigt, dass trotz der institutionellen Schwäche des Geodätischen Instituts Potsdam ein genereller Rückfall der geodätischen Wissenschaft nicht wahrscheinlich war. Dazu haben wesentlich die sowjetische Geodäsie mit den Arbeiten von Krassowski, Molodenski und der Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAIK) sowie die amerikanische Geodäsie mit Hayford, Bowie und der U. S. Coast and Geodetic Survey beigetragen.

Nach dem 2. Weltkrieg wurde die Helmertsche Schule der Geodäsie in der europäischen Landesvermessung, wenn auch in Ost und West getrennt, weitergetragen. Durch Arbeiten von Helmut Wolf (1910-1994) und Hellmut Schmid (1914-1998) wurden Konzepte der europäischen Gradmessung und Internationalen Erdmessung weitergeführt und zu einer gewissen wissenschaftlichen Vollendung geführt.

Kurz nach Ende des Krieges überführte der US Army Map Service die in einem Stollen in Friedrichroda in Thüringen ausgelagerten Unterlagen des Reichsamtes für Landesaufnahme, der Nachfolgeeinrichtung der preußischen Landesvermessung, nach Bamberg in Bayern. Wolf wurde mit der wissenschaftlichen Bearbeitung des Zentraleuropäischen Netzes (ZEN, Abb. 8), das als Vorstudie für ein gesamteuropäisches Netz dienen sollte, beauftragt. Die Hauptelemente des ZEN sind: Zwangsfreie Ausgleichung des Rahmens des Triangulationsnetzes und Einhängen der Verbindungsketten zwischen den Knotenpunkten, Bestimmung eines Geoides und eine Lotabweichungsausgleichung zur Lagerung des Netzes auf dem Hayford-Ellipsoid. Als Datumspunkt wurde der Helmert-Turm Potsdam gewählt.



Abb. 8: Konfiguration des Zentraleuropäischen Netzes, Geoidprofile (Wolf, 1949).

Es gab keinen sachlichen Grund für diese Wahl, zumal der Helmert-Turm kein Punkt 1. Ordnung war, der nur durch Hilfsnetze eingeschaltet werden konnte. Vielmehr hatte der Helmert-Turm Symbolcharakter. Die Netzbearbeitung trug die Züge der Helmerischen Ansätze. Man kann sagen, dass mit dem ZEN die Konzepte von Helmert und Bruns für die Bearbeitung von Triangulationen unter Nutzung von Lotabweichungen und Geoidbestimmungen exzellent umgesetzt wurden. (Wolf, 1949)

An das ZEN wurden in verschiedenen Schritten die sogenannten Europänetze von der U. S. Coast and Geodetic Survey angefeldert, sodass sich Anfang der 1960er Jahre ein gesamteuropäisches Netz vom Nordkap bis zum Kaukasus und vom Westkap bis zum Ural auf den Datumspunkt Helmert-Turm bezog.

Das Hauptthema im Brunsschen Werk von 1878 war die Bestimmung der Figur der Erde aus fünf Klassen von Messungen: Astronomische Ortsbestimmungen, Triangulation, trigonometrisches und geometrisches Nivellement sowie Schweremessungen. Aus praktischen Gründen war die Realisierung des theoretischen Ansatzes eines erdumspannenden Polyeders zu seiner Zeit nicht möglich. Das erkannten auch alle seine Zeitgenossen. Erst im Zeitalter der Satellitengeodäsie wurde mit dem PAGEOS-Weltnetz nach einem Vorschlag von Hellmut Schmid in den 1960er/70er Jahren das erste globale geodätische Referenznetz geschaffen, allerdings mit rein geometrischen Messungen. Einen vergleichbaren Netzentwurf zum ZEN gab es mit dem *Einheitlichen Astronomisch-Geodätischen Netz* (EAGN) in Osteuropa mit dem Datumspunkt Pulkowo, ausgeglichen auf dem Krassowski-Ellipsoid. Im überlappenden Bereich waren die Netzkonfigurationen der Europänetze und des EAGN identisch.



Abb. 9: Helmert-Turm, Photographische Satellitenkamera SBG 1967, (Foto: Zentralinstitut für Physik der Erde, ZIPE).

Das EAGN war die geodätische Grundlage des Warschauer Paktes bis zu seiner Auflösung. Das ZEN und die Europänetze mit dem als Europäisches Datum bezeichneten Referenzsys-

tem waren die geodätische Grundlage der NATO in Europa bis in die 90er Jahre des vergangenen Jahrhunderts. Als übergeordnetes Satellitennetz für das EAGN erfolgte ab 1967 die Anlage eines sogenannten Kosmischen Dreiecks Pulkowo-Potsdam-Sofia. Die Verbindungen wurden durch Stellartriangulation mit Beobachtungen auf dem Helmert-Turm, elektronischen Streckenmessungen und zusätzlichen astronomischen Messungen hergestellt (Abb. 9). Damit war der Helmert-Turm ein Bindeglied der geodätischen Grundlagen der sich in Europa bis 1989 feindlich gegenüberstehenden Militärblöcke.

Die Hauptfunktion hatte der Helmert-Turm nach dem 2. Weltkrieg allerdings durch seine Nutzung als Beobachtungsstation für Satellittriangulationen und Satellitenlasermessungen bis 1992 im Rahmen von Projekten der Internationalen Assoziation für Geodäsie und anderer Kooperationen. Damit diente der Helmert-Turm über 100 Jahre als Beobachtungsstation. Darüber hinaus bezogen sich viele Berechnungen von Lotabweichungen und Geoidhöhen auf diesen Punkt und ließen einen Vergleich verschiedener theoretischer Ansätze der physikalischen Geodäsie zu. Die Messungen auf dem Helmert-Turm waren ein wichtiger Beitrag der Akademie der Wissenschaften der DDR zur Kooperation zwischen Ost und West. Der Helmert-Turm hat Symbolcharakter für die Kooperation der Erdwissenschaften, auch in den schwierigen politischen Zeiten des vergangenen Jahrhunderts.

Epilog

Helmert erkannte die Bedeutung der Erdschwerefeldbestimmung für die Geodäsie, aber auch für die anderen Erdwissenschaften. Durch Experimente und Projekte konnte er die Realisierbarkeit seiner Ansätze nachweisen. Helmert wollte die Schweremessung auch organisatorisch in der Internationalen Erdmessung verankern. Helmert hat die Grenzen zwischen Geodäsie und Geophysik nicht verwischt, aber er hat sie zu Gunsten der Geodäsie verschoben. Wichtig ist schließlich der Beitrag Helmersts zu den gemeinsamen theoretischen Grundlagen beider Disziplinen.

Das Zusammentreffen vieler günstiger Umstände förderte Helmersts Schaffen und Lebenswerk. Helmert hatte eine Begabung, mit Zahlen, Geometrie und Technik umzugehen (Berroth, 1953) und damit einen klaren Verstand für mathematisch-physikalische Zusammenhänge. Er war streng zu Pünktlichkeit und Ordnung erzogen. Sein Talent wurde früh erkannt und von seinen Lehrern gefördert, was zur Motivation seines Schaffens und seiner frühen Autorität beitrug. Er arbeitete im Kreise genialer Wissenschaftler unter guten organisatorischen und finanziellen Bedingungen. Seine Persönlichkeit gestattete eine produktive Zusammenarbeit mit Kollegen am Institut, in der Akademie, mit dem Ministerium und im Rahmen der Internationalen Erdmessung. Er motivierte und förderte seine Mitarbeiter. Helmert war mit Kopf und Herz bei seiner Arbeit. Das ging nur, weil seine Ehefrau ihn unterstützt hat.

Es gibt heutzutage Überlegungen, dass die Satellitengeodäsie die Bestimmung des Erdschwerefeldes für die Geodäsie unnötig und uninteressant gemacht habe, man also die Arbeiten der Geodäsie auf die Geometrie und damit auf mathematische Theorien reduzieren kann. Das ist ein fataler Irrtum, denn das Gegenteil ist der Fall. Das haben schon Bruns und Helmert vor über 100 Jahren erkannt – und daran hat sich nichts geändert. Die Erdschwerefeldbestimmung hat sich mit den Satellitenschwerefeldmissionen von einer Reduktionsfunktion für geometrische Messungen freigeschwommen. Erst jetzt kann dieser Zweig der Geodäsie einen eigenständigen Beitrag zu der Ermittlung der Veränderungen des Erdkörpers leisten.

Die Integration von Geometrie und Schwerefeld der Erde ist eine der großen wissenschaftlichen Aufgaben der Geodäsie in den nächsten Jahren, um einen fundierten Beitrag zur Bestimmung der Veränderungen des Erdkörpers leisten zu können. Die Geodäsie hat immer von den Entwicklungen der Physik sowohl in Theorie als auch instrumentell partizipiert. Umgekehrt ist die Geodäsie ein wichtiges Anwendungsfeld für die Physik. Damit das so bleibt, muss stets in der internationalen Gemeinschaft der Bezug zwischen den Geodisziplinen und der Grundlagenforschung intensiv bleiben. Das geht nur, wenn die Bildung des Nachwuchses der wissenschaftlich-technischen Entwicklung voransteht.

Die Geschichte der Internationalen Erdmessung zeigt auch, welche Bedeutung die Kontinuität wissenschaftlicher Institutionen hat. Nach dem 2. Weltkrieg ging aus dem Wissenschaftsstandort Potsdam Telegraphenberg das Zentralinstitut für Physik der Erde (ZIPE) hervor. Seit 1992 ist das Helmholtz-Zentrum Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) in den Wissenschaftspark „Albert Einstein“ integriert. Die Geodäsie hatte und hat dort mit anderen geowissenschaftlichen Disziplinen einen festen Platz.

Helmerts großes Verdienst besteht darin, dass er ein Gesamtgebäude der Geodäsie geschaffen und damit einen anerkannten Platz der Geodäsie als mathematisch-physikalische Disziplin in den Geowissenschaften gesichert hat.

Danksagung

Unterstützt wurden die Recherchen von den Mitarbeitern der Archive oder historischen Abteilungen der RWTH Aachen, der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, des Sächsischen Staatsarchivs, Hauptstaatsarchiv Dresden und der Sternwarte in Hamburg-Bergedorf. Ihnen gilt herzlicher Dank. Die Autoren danken auch besonders dem Direktor des Departments 1 Geodesy des Helmholtz-Zentrums Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum, Herrn Prof. Dr. Harald Schuh, für die Anregungen zur Ausarbeitung dieses Beitrags und Herrn Prof. Wolfgang Torge für hilfreiche Kommentare und Anmerkungen. Wir danken Herrn Dr. Wolfgang Dick und einen anonymen Rezensenten für die Durchsicht und konstruktive Kommentare zu diesem Artikel.

Anmerkungen

Dieser Artikel ist eine überarbeitete und ergänzte Fassung unserer Veröffentlichung: Friedrich Robert Helmert, founder of modern geodesy, on the occasion of his centenary of his death. In: *History of Geo- and Space Science*, 8, 1-17, 2017.

<https://doi.org/10.5194/hgss-8-1-2017>

Am Ende des Heftes befindet sich der Dokumentenanhang der im Beitrag genannten Dokumente. Die Transkriptionen der Dokumente fertigte Andreas Reinhold.

Quellen- und Literaturverzeichnis

ABBAW 1: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Archiv, Historische Abteilung 1812-1945, Arbeitsstelle Venusdurchgänge, Nr. 12, Personalien, Blatt 11, 1872-1874.

ABBAW 2: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Archiv, Historische Abteilung 1812-1945, Sternwarte Babelsberg, Nr. 206, Internationale Organisation der Gradmessungsarbeiten, 17, 1884-1888.

ABBAW 3: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv, Historische Abteilung 1812-1945, Sternwarte Babelsberg, Nr. 206, Internationale Organisation der Gradmessungsarbeiten, 32, 1884-1888.

ABBAW 4: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-III-30, Blätter 57, 61 und 62, 1892.

ABBAW 5: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-III-32, Blätter 141 bis 144 und 158 bis 160, 1900.

ABBAW 6: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-III-36, Blatt 258, 1915.

ABBAW 7: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-III-37, Blätter 16 und 17, 1917.

ABBAW 8: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 33, 1917.

ABBAW 9: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 35, 1917.

ABBAW 10: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 37f, 1917.

ABBAW 11: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 39ff, 1917.

ABBAW 12: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 53, 1918.

ABBAW 13: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 57ff, 1918.

ABBAW 14: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blätter 60 bis 62, 1918.

ABBAW 15: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 78, 1922.

ABBAW 16: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 93 und 103, 1927.

ABBAW 17: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 104, 1927.

Akademie-Vorträge von Friedrich Robert Helmert: Mit einer Einführung von Ernst Buschmann und einem Beitrag von Martina und Günter Harnisch, Verlag des Instituts für Angewandte Geodäsie, Frankfurt am Main, 1993.

Baeyer, J. J.: Über die Grösse und Figur der Erde – Eine Denkschrift zur Begründung der mittel-europäischen Gradmessung, Georg Reiner Verlag, Berlin, 1861.

Baeyer, J. J.: Das Messen auf der Sphäroidischen Erdoberfläche. Erläuterungen meines Entwurfs zu einer mittel-europäischen Gradmessung, Georg Reiner Verlag, Berlin, 1862.

Baeyer, J. J.: Mein Entwurf zur Anfertigung einer guten Karte von den östlichen Provinzen des Preussischen Staates: Ein Beitrag zur Entwicklung der Messkunde in Preussen, Georg Reiner Verlag, Berlin, 1868.

Berroth, A.: Beitrag zur Biographie und Genealogie von Friedrich Robert Helmert, ZfV, Heft 7, 210-215, 1953.

Bruns, H.: Die Figur der Erde – Ein Beitrag zur Europäischen Gradmessung, Verlag P. Stankiewicz, Berlin, 1878.

Buschmann, E. und Kautzleben, H.: Erdmessung – 125 Jahre erstes internationales geodätisches Programm, Vermessungstechnik 35, Heft 4, 110-115, Berlin, 1987.

Buschmann, E.: F. R. Helmerts Bewerbung bei J. J. Baeyer, AVN 100, Heft 10, 385-390, 1993a.

Buschmann, E.: Ein Jahrhundert Geodäsie in Potsdam, AVN 100, Heft 7, S. 247–265, 1993b.

Buschmann, E.: Zur Einführung in Akademie-Vorträge von Friedrich Robert Helmert, 11-17, Verlag des Instituts für Angewandte Geodäsie, Frankfurt am Main, 1993c.

Buschmann, E. (Hrsg.): Aus Leben und Werk von Johann Jacob Baeyer: Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Frankfurt am Main, Reihe I, Heft 112, 1994a.

- Buschmann, E. (Hrsg.): Briefwechsel zwischen Johann Jacob Baeyer und Wilhelm Foerster (1867 – 1868), in: Buschmann 1994a, 145-159, 1994b.
- Buschmann, E.: Einst auf dem Potsdamer Telegrafenberg, Vermessung Brandenburg 2, 2-17, 1996.
- Dick, W. R.: Die Vorgeschichte von Johann Jacob Baeyers 'Entwurf zu einer Mitteleuropäischen Gradmessung', in: Buschmann, E., 105-144, 1994.
- Dick, W. R.: Zur Vorgeschichte der Mitteleuropäischen Gradmessung, in: Beiträge zum J. J. Baeyer-Symposium 1994, DGK, Reihe E, Heft 25, Frankfurt/M, 15-27, 1996.
- Elstner, Cl., Harnisch, M. und Harnisch, G.: Gravimetrische Arbeiten im Geodätischen Institut und im Zentralinstitut der Erde 1870 –1991, in: Zur Geschichte der Geophysik in Deutschland, Jubiläumsschrift zur 75-jährigen Wiederkehr der Gründung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Hamburg, 182-186, 1997.
- Fischer, A. und Helmert, F. R.: Zenitdistanzen zur Bestimmung der Höhenlage der Nordsee-Inseln Helgoland, Neuwerk und Wangeroog sowie des Leuchtturmes auf Roter Sand über den Festlandpunkten Cuxhaven und Schilling, Veröff. Kgl. Preuß. Geod. Inst., Verlag P. Stankiewicz, Berlin, 1895.
- Galle, A., Schnauder, M. und Helmert, F. R.: Die Polhöhe von Potsdam, I. Heft. Veröff. Kgl. Preuß. Geod. Inst., Berlin, 1898.
- Gast, P. (Hrsg.): Die Technische Hochschule zu Aachen 1870 bis 1920, Eine Gedenkschrift. Aachen, 1921.
- GStA PK 1: Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz, HA Rep.76 Kultus, Vc Sekt.1 Tit.XI Teil II Nr.5 Bd. 12, 1885-1887.
- GStA PK 2: Brief Wilhelm Foersterns vom 13.09.1885 aus Paris an den Kultusminister. Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz, HA Rep.76 Kultus, Vc Sekt.1 Tit.XI Teil II Nr. 5 Bd. 12, Blätter 10-13, 1885.
- GStA PK 3: Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz, HA Rep.76 Kultus, Vc Sekt.1 Tit.XI Teil II Nr.5 Bd. 1, Blätter 25 bis 38 1886-1887.
- Harnisch, M. und G.: Helmerts Arbeiten zur physikalischen Geodäsie, in: Akademie-Vorträge von Friedrich Robert Helmert, 37-77, Verlag des Instituts für Angewandte Geodäsie, Frankfurt am Main, 1993.
- Helmert, F. R.: Studien über rationelle Vermessungen im Gebiet der höheren Geodäsie, Inaugural-Dissertation, Teubner, Leipzig, 1868.
- Helmert, F. R.: Die Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate mit Anwendungen auf die Geodäsie und die Theorie der Meßinstrumente, Leipzig, 1872a.
- Helmert, F. R.: Die Übergangscurven für Eisenbahn-Geleise mit Rechnungs-Beispielen und Tafeln für den praktischen Gebrauch, Aachen, 1872b.
- Helmert, F. R. Der Stern-Haufen im Sternbild des Sobieskischen Schildes. Mit 2 Karten, Publikation der Hamburger Sternwarte Nr. 1, Hamburg, 1874.
- Helmert, F. R.: Die mathematischen und physikalischen Theorieen der höheren Geodäsie, I. Teil: Die mathematischen Theorieen, Leipzig, 1880.
- Helmert, F. R.: Die mathematischen und physikalischen Theorieen der höheren Geodäsie, II. Teil: Die physikalischen Theorieen: Mit Untersuchungen über die mathematische Erdgestalt auf Grund der Beobachtungen, Leipzig, 1884.
- Helmert, F. R. (Hrsg.): Verhandlungen des Wissenschaftlichen Beiraths des Königlichen Geodätischen Instituts zu Berlin im Jahre 1886, Stankiewicz' Buchdruckerei, Berlin, 1886.
- Helmert, F. R.: Beiträge zur Theorie des Reversionspendels, Veröff. Kgl. Preuß. Geod. Inst. und Centralbureau der Internationalen Erdmessung, Potsdam, 1898a.
- Helmert, F. R. und Albrecht, Th.: Der internationale Polhöhendienst, Astron. Nachr. 148, 49-56, 1898b.
- Helmert, F. R.: Geodätisches Institut Potsdam [Jahresbericht 1898], Viertelj. Schrift Astron. Ges. 34, 161-167, 1899.
- Helmert, F. R.: Die Internationale Erdmessung in den ersten fünfzig Jahren ihres Bestehens, in: Int. Monatsschrift f. Wissenschaft, Kunst und Technik 7, 1-27, 1913.
- Hirsch, A. (Hrsg.): Verhandlungen der achten Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung und deren Permanenten Commission, Verlag Reimer, Berlin, 1887.

- Höpfner, J.: Absolute Bestimmung der Schwere mit Reversionspendeln in Potsdam. Deutsche Gesellschaft für Chronometrie, Jahresschrift, Bd. 51, 101-114, 2012.
- Höpfner, J.: Bibliographie Friedrich Robert Helmert (1843-1917), verfügbar unter: <http://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/escidoc:117035/component/escidoc:117034/JHHelmertBibliographie.pdf>, Potsdam, 2013a
- Höpfner, J.: Rückblick auf ausgeführte Arbeiten und wissenschaftliche Leistungen des Geodätischen Instituts Potsdam, verfügbar unter: http://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/escidoc:292657/component/escidoc:292656/JH_RueckblickGIP_2.pdf, 2013b.
- HStA Dresden 1: Sächsisches Staatsarchiv. Hauptstaatsarchiv Dresden, 10857 Kommission für die europäische Gradmessung in Sachsen, Nr. 19, 1865.
- HStA Dresden 2: Sächsisches Staatsarchiv. Hauptstaatsarchiv Dresden: 10857 Kommission für die europäische Gradmessung in Sachsen, Nr. 22, 1865.
- Hülse, J. A. (Hrsg.): Programm zu den am 18., 19. und 20. März 1861 mit den Schülern der Königlichen polytechnischen Schule und der Königlichen Baugewerkschule zu Dresden zu haltenden Prüfungen, Dresden, 1861.
- Kühnen, F. und Furtwängler, Ph.: Bestimmung der absoluten Größe der Schwerkraft zu Potsdam mit Reversionsspendeln, Veröff. Kgl. Preuß. Geod. Inst., Neue Folge Nr. 27, Berlin, 1906.
- Nagel, A. (Hrsg.): Astronomisch-geodätische Arbeiten für die Europäische Gradmessung im Königreiche Sachsen, I. Abtheilung. Die Grossenhainer Grundlinie, Bearbeitet von C. Bruhns und A. Nagel, Druck und Verlag von P. Stankiewicz' Buchdruckerei, Berlin, 1882.
- Nagel, A. (Hrsg.): Astronomisch-geodätische Arbeiten für die Europäische Gradmessung im Königreiche Sachsen, II. Abtheilung. Das Trigonometrische Netz I. Ordnung, Bearbeitet von A. Nagel, Druck und Verlag von P. Stankiewicz' Buchdruckerei, Berlin, 1890.
- Peschel, H.: Gedenkrede zu Helmerts 50. Todestag am 15. Juni 1967 in Freiberg, Vermessungstechnik 15, Heft 9, 334-340, Berlin, 1967.
- Privatbesitz: Urkunde des Deutschen Museums München über die Ausschussmitgliedschaft Helmerts, 1912, München.
- Rummel, R.: Fünfzig Jahre Sputnik und fünfzig Jahre Vermessung des Gravitationsfelds der Erde mit Satelliten, in: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin 96, 55 – 62, 2008.
- RWTH 2003: Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, Historisches Institut, Abteilung Hochschularchiv, Vorlesungsverzeichnisse Helmert auf historischen Karteikarten. Fotokopie, 2003.
- Schorr, R.: Die Hamburger Sternwarte. Hamburg in naturwissenschaftlicher und medizinischer Beziehung. Den Teilnehmern der 73. Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte als Festgabe gewidmet, 1901.
- Schüler, R., Harnisch, G., Fischer, H. und Frey, R.: Absolute Schwerebestimmungen mit Reversionsspendeln 1968 –1969, Veröff. Zentralinst. f. Physik der Erde, Nr. 10, Potsdam, 1971.
- Stw. Hamburg: Sternwarte Hamburg-Bergedorf, Archiv Bibliothek, Beobachtungsbücher F. R. Helmert.
- Torge, W.: Geschichte der Geodäsie in Deutschland, De Gruyter, Berlin-New York, 2007.
- Torge, W.: From a regional project to an International Organisation: The "Baeyer-Helmert-Era" of the International Association of Geodesy 1862-1916, in: IAG 150 Years, IAG Symposia 143, edited by: Rizos, C. and Willis, P. 3-18, Springer, 2016.
- UA Leipzig: Universitätsarchiv Leipzig. UAL Phil. Fakultät. Promotion 1102, 7 Blatt, 1867, 1868.
- Völter, U.: Geschichte und Bedeutung der Internationalen Erdmessung, DGK Reihe C, Heft Nr. 63, München, 1963.
- Wolf, H.: Beiträge zur Lotabweichungsausgleichung und Geoidbestimmung, Zweiter Teil, Tafel 12, in: Veröffentlichungen des Instituts für Erdmessung, Band 6, Bamberger Verlagshaus Meisenbach & Co, Bamberg, 1949.
- Wolf, H.: Friedrich Robert Helmert – sein Leben und Wirken, ZfV 118, Heft 12, 582–590, 1993. Buschmann, E. (1993b): F. R. Helmerts Bewerbung.

Friedrich Robert Helmert im „System Althoff“.

Preußische Wissenschaftspolitik und das Geodätische Institut

André Brall und Johannes Leicht

Zusammenfassung

Die Entwicklung des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts im ausgehenden 19. Jahrhundert zu einer international herausragenden Wissenschaftsinstitution ereignete in einer Zeit, in der Preußen wie kaum ein anderes Land Forschung und Wissenschaft strukturell und finanziell förderte. Parallel dazu erfolgte auch die Entwicklung von Friedrich Robert Helmert zu einem der renommiertesten Geodäten. Aber ohne das kongeniale Wirken zwischen Wissenschaft und Politik wäre der Aufstieg sowohl des Instituts als auch der von Helmert zu einer weltweit anerkannten wissenschaftlichen Institution ihrer Zeit nicht möglich gewesen. Mit ihren Forschungsergebnissen trugen sie dazu bei, das internationale Renommee Preußens als führender Wissenschaftsstandort zu sichern.

Einleitung und Erkenntnisinteresse

Am 15. Juni 1917 verstarb mit Friedrich Robert Helmert einer der bedeutendsten deutschen Geodäten, dessen Leben und Wirken mehrfach ausführlich gewürdigt wurde (Peschel 1967; Löschner/Wolf 1970; Wolf 1993; Ihde/Reinhold 2017; Weiß 2017, Witte 2017). Die Anerkennungen von Helmerts wissenschaftlichen Leistungen fallen in Nachrufen und Darstellung von Fachkollegen eindeutig aus: Er hat „die Geodäsie als eigenständige wissenschaftliche Disziplin begründet“ (Platen/Torge 1993, S. 581), die Erdmessung „durch seine Arbeiten in ganz neue Bahnen gelenkt“ (Eggert 1917, S. 295) und war „zweifelloos einer der größten Geodäten unserer letzten Jahrhunderte“ (Moritz 2014, S. 195). Er gilt nicht zu Unrecht als „überragender Meister der Erdmessung“ (Berroth 1943). Der entsprechende Zeitabschnitt wird auch als „Helmertsche Epoche“ (Torge 2009, S. 241) bezeichnet. Sein Wirken ist darüber hinaus untrennbar mit der Entwicklung des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts zu einem weltweit anerkannten Zentrum der Geodäsie verbunden, das „in jeder Hinsicht die Handschrift von Friedrich Robert Helmert“ trägt (Buschmann 1993a, S. 250).

Die wissenschaftliche Karriere des vor 175 Jahren geborenen Helmert zum führenden Geodäten seiner Zeit fand ebenso im „System Althoff“ statt wie der Aufstieg Potsdams zum „Mekka der Geodäsie“ (Brocke 1980; Buschmann 1993a). Friedrich Althoff (1839-1908) war von 1882 bis 1907 der entscheidende Akteur im preußischen Ministerium der geistlichen-, Unterrichts- und Medizinalangelegenheiten, kurz: im Kultusministerium. Ihm unterstand faktisch das gesamte Unterrichts- und Hochschulwesen in Preußen. Maßgeblich hatte er den Ausbau und die Modernisierung der preußisch-deutschen Wissenschaft um die Jahrhundertwende vorangetrieben (Brocke 1991). Althoff war über viele Jahre auch wichtigster Ansprechpartner von Helmert als Direktor des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts, das strukturell direkt dem Ministerium unterstellt war. Doch wie gestaltete sich die Zusammenarbeit zwischen dem Ministerialbeamten Althoff und dem Geodäsieprofessor Helmert?

Helmerts Weg in die Wissenschaft

Die frühen Lebensjahre des am 31. Juli 1843 in Freiberg/Sachsen geborenen Friedrich Robert Helmert und seine Ausbildungszeit sind verschiedentlich dargestellt worden, jüngst anlässlich seines 100. Todestags im Jahr 2017 (Reigber 2017; Ihde/Reinhold 2017). Immer wieder wird in den Beiträgen darauf verwiesen, dass Helmert während seines Studiums an der Königlich Sächsischen Polytechnischen Schule von 1859 bis 1863 besonders vom Professor für Geodäsie, Christian August Nagel (1821-1903), für seinen weiteren wissenschaftlichen Lebensweg geprägt wurde. Schon als Student hatte er an verschiedenen Vermessungsprojekten in Sachsen teilgenommen. Seinem hervorragenden, mit einem Reise-Stipendium an die Hamburger Sternwarte ausgezeichneten Studienabschluss folgte ab Spätherbst 1863 eine Assistententätigkeit bei Professor Nagel (Peschel 1967, S. 335). Dieser war für die Erstellung des sächsischen Dreiecksnetzes innerhalb der Mitteleuropäischen Gradmessung verantwortlich, der das Königreich Sachsen 1862 beigetreten war. Auf Nagels Anregung hin vertiefte Helmert seine mathematisch-astronomische Ausbildung an der Universität Leipzig und arbeitete ab 1866 an der dortigen Sternwarte unter Professor Carl Christian Bruhns (1830-1881). Anschließend war er weiterhin mit Gradmessungsarbeiten beschäftigt, zusätzlich aber auch als Lehrer für Mathematik an einem Privatgymnasium in Dresden tätig. Im Mai 1868 wurde Helmert mit nur 24 Jahren von der philosophischen Fakultät der Universität Leipzig aufgrund seiner vielbeachteten Dissertation „Studien über rationelle Vermessungen im Gebiete der höheren Geodäsie“ zum Dr. phil. promoviert (GStA PK 1, 1887; Ihde/Reinhold 2017, S. 80f.).

Die sächsischen Vermessungsarbeiten im Rahmen der Mitteleuropäischen Gradmessung hatten Helmert so sehr begeistert, dass er sich nach seiner Promotion direkt bei Johann Jacob Baeyer (1794-1885), dem Präsidenten des seit 1867 zur Europäischen Gradmessung erweiterten grenzübergreifenden Vermessungsprojekts, um eine Stelle am gerade in Gründung befindlichen Königlich Preußischen Geodätischen Institut in Berlin bewarb. Es sei sein „lebhafter Wunsch“ dort tätig werden zu dürfen, da er beabsichtige, „Lehrer der Geodäsie“ zu werden, schrieb der junge Wissenschaftler. Doch Baeyer konnte ihm im Zentralbüro keine feste Anstellung anbieten (Buschmann 1993b). Stattdessen trat Helmert daher 1869 eine Tätigkeit als Observator an der Hamburger Sternwarte an, wo er vor allem seine Kenntnisse in Astronomie vertiefte (Peschel 1967, S. 336; Reigber 2017, S. 10).

Als Helmert im Januar 1870 eine Berufung als ordentlicher Lehrer für das Fachgebiet Praktische Geometrie und Geodäsie an die neu gegründete Rheinisch Westfälische Polytechnische Schule in Aachen erhielt, ergriff er nicht nur die Chance, endlich als Lehrer in seinem Wunschfach tätig zu werden, sondern auch Möglichkeit, die Ausrichtung der zukunftssträchtigen Bildungseinrichtung inhaltlich mit zu gestalten. Sein wissenschaftliches Wirken in Aachen war wegweisend, seine Arbeiten und Publikationen, wie sein Band zur Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate (1872) oder die beiden Bände über die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie (1880/1884), gelten bis heute als wissenschaftliche Standardwerke (Ihde/Reinhold 2017, S. 84f.; Reigber 2017, S. 10ff.).

Die Neugründung der Schule in Aachen erfolgte zu einem Zeitpunkt, als die Struktur jener älteren Polytechnischen Schulen Preußens in einem grundlegenden Wandel begriffen war. Zwischen 1872 und 1885 wurden die meisten Polytechnischen Schulen in Preußen in „Technische Hochschulen“ umgewandelt. Mit der akademische Rangerhöhung einher ging die

Aufwertung der Dozentenstellen zu Professuren auch ohne Habilitation. Helmerts Ernennung zum ordentlichen Professor in Aachen erfolgte im Dezember 1872 (Petri/Droege, S. 505ff.)

Helmert brachte sich neben dem zeitaufwändigen Erstaufbau des Studienbetriebs und seinen eigenen wissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen eines kleinen Kollegiums auch aktiv in die organisatorische Entwicklung der Schule ein, z.B. bei der Erarbeitung des Verfassungsstatuts. Bereits hier zeigt sich, dass Helmert längerfristig dachte. In der Diskussion über den Studienplan merkte er an: „man müsse daher gleich von vorn herein alles das bieten, was in den Umfang der Studien hineingehöre“ (GStA PK 2, 1870). Neben diesen ersten administrativ-organisatorischen Erfahrungen erweiterte er in Aachen zugleich sein wissenschaftliches Netzwerk kontinuierlich. Im Jahr 1875 erfolgte seine Berufung neben Prof. Wilhelm Jordan (1842-1899) als Mitherausgeber in die Schriftleitung der Zeitschrift für Vermessungswesen. Zwei Jahre später wurde der Geodät auf Vorschlag der Preußischen Akademie der Wissenschaften als Mitglied in den ersten wissenschaftlichen Beirat des bereits 1870 in Berlin gegründeten Königlich Preußischen Geodätischen Instituts gewählt. Neben dem jungen Aachener Professor saßen hierin unter anderem der bekannte Berliner Astronom Arthur Auwers (1838-1915) und der Industrielle Werner von Siemens (1816-1892) (Reigber 2017, S. 11).

Helmerts Leistungen als Geodät sowie sein wissenschaftspolitisches Engagement machten ihn auch über die Grenzen Preußens hinaus bekannt. Einen Ruf nach Cordoba in Argentinien lehnte er 1873 ab. 1881 erhielt er einen Ruf aus Karlsruhe, wo er den Lehrstuhl von Prof. Jordan übernehmen sollte. Doch Helmert hatte sich in Preußen mittlerweile einen Namen erarbeitet und nutzte die Gelegenheit, um selbstbewusst mit dem Aachener Rektor Adolf von Gizycki (1834-1891) sein Gehalt neu zu verhandeln. Er würde „seine Thätigkeit auch in Zukunft unserer Hochschule trotz der außerordentlich schwierigen Verhältnisse, die zur Zeit für dieselbe bestehen, gern widmen und von dem Eintritt in Verhandlungen mit Karlsruhe Abstand nehmen [...], falls er sein materielles Fortkommen dadurch nicht beeinträchtigte“ (GStA PK 3, 1881). Vordergründig ging es ihm darum, dass er in Aachen 5.000 Mark jährlich verdiente, in Karlsruhe aber durchaus mit einem höheren Gehalt rechnen konnte. Helmert verwies zusätzlich darauf, dass er infolge seiner umfangreichen wissenschaftlichen Tätigkeit keine Zeit für Nebeneinkünfte habe (GStA PK 4, 1881). Der Kultusminister genehmigte schließlich einen Verhandlungsrahmen von 1.000 Mark, um den anerkannten Geodäten in Aachen zu halten, mit Erfolg. Das Beispiel zeigt, dass Helmert zu diesem Zeitpunkt genauso wenig ein wirkliches Interesse daran hatte, den Wissenschaftsstandort Preußen zu verlassen, wie ihn das preußische Kultusministerium auch nicht ins Großherzogtum Baden ziehen lassen wollte.

Das „System Althoff“

Den fachlich äußerst fähigen und aufstrebenden Aachener Wissenschaftler hatte auch Friedrich Althoff im Blick, nachdem er 1882 als Universitätsreferent ins Kultusministerium berufen wurde und dort – ab 1897 als Ministerialdirektor – mit weitreichenden Befugnissen ausgestattet war. Die preußische Wissenschaftspolitik dieser Zeit ist untrennbar mit Althoffs Namen verbunden. Seine Leistungen sind unbestritten, auch wenn kritische Stimmen an seiner Amtsführung nie verstummten. Bernhard von Brocke, der wohl bester Kenner des „Systems Althoff“, bilanziert, dass die Zahl der Nobelpreise, die vor und nach dem

Ersten Weltkrieg an in Deutschland wirkende Wissenschaftler verliehen wurden, ausschließlich auf den unter und durch Althoff geschaffenen oder eingeleiteten institutionellen und personellen Grundlagen beruhte. Insbesondere die Nobelpreise für Medizin und Chemie an Emil von Behring (1854-1917) und Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911) im Jahr 1901 als auch die weiteren an Emil Fischer (1852-1919) im Jahr 1902, an Robert Koch (1843-1910) im Jahr 1905, an Paul Ehrlich (1854-1915) im Jahr 1908, an Albrecht Kossel (1853-1927) im Jahr 1910 und an Philipp Lenard (1862-1947) im Jahr 1905 sind mit dem organisatorischen Wirken Althoffs zu verbinden, der diese Wissenschaftler in Preußen hielt oder nach Preußen holte (von Brocke 1980). Oft agierte der Jurist Althoff unbürokratisch, überschritt bei Bedarf Ressortgrenzen und pflegte ein weitverzweigtes Netzwerk, so dass er im Stil einer „Geheimdiplomatie“ wegweisende Entscheidungen maßgeblich steuerte.

Friedrich Althoff arbeitete entschlossen daran, die bereits hochentwickelte Wissenschaftsregion Berlin gemeinsam mit anderen Forschungsstandorten in Preußen zu einer weltweit führenden Wissenschaftslandschaft auszubauen (Laitko 1991, S. 74ff.). Er entwickelte ein Netz aus neuen sowie bereits existierenden, aber gewachsenen Universitäten, ergänzt um Akademien und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, aber auch um neue Handelshochschulen und spezialisierte Forschungsanstalten. Für die Jahre 1868 bis 1906 zählt Peter Lundgreen 18 Institutsneugründungen. Zusätzlich entstanden noch 14 von landwirtschaftlichen Verbänden getragene Forschungsinstitute (Lundgreen 1986). Unter Althoff entwickelte sich das preußische Hochschulwesen zu einem – wie es der Theologe Adolf von Harnack beschrieb – „Großbetrieb der Wissenschaft“, der weit über die Grenzen Preußens und des deutschen Kaiserreiches hinaus strahlte (Vierhaus 1991, S. 194f.; Backhaus 1992, S. 49).

Althoffs Leitungsstil war effektiv, aber auch umstritten. Er scheute Eingriffe in die wissenschaftliche Autonomie der Universitäten und Technischen Hochschulen nicht. Vor allem bei Personalentscheidungen sprach er eine gehörige Portion mit, auch um wissenschaftliches Spitzenpersonal in Preußen zu binden. Althoff sah und gestaltete Wissenschaft stets von den Personen her. Personalpolitische Entscheidungen waren seine wesentlichen Hebel, mit welchen „die staatliche Wissenschaftsverwaltung steuernden Einfluss auf die Wissenschaftsentwicklung nehmen konnte“ (Laitko 2008, S. 200). Er vermied dabei eine direkte thematische Lenkung, denn fachlich – das wusste der Ministerialbeamte wohl – entschieden die Wissenschaftler souverän. Er steuerte, indem er Gelehrte unter vorab abgestimmten inhaltlichen Präferenzen und abgesteckten Rahmenbedingungen auf bestimmte Stellen brachte. In seinem jahrelangen Wirken ist immer wieder das Schema erkennbar, dass er institutionelle Entscheidungen und inhaltliche Schwerpunktbildung geschickt an die Verfügbarkeit von Personen mit deren jeweiligen wissenschaftlichen Kompetenzen und Präferenzen knüpfte (Laitko 2008, S. 200).

Es gelang Althoff, dafür erhebliche Mittel zu mobilisieren und, wenn es für die Anwerbung nötig war, auch neue Institute zu etablieren. Das „System Althoff“ war durch bürokratische Professionalisierung des Hochschulsystems, Kontrolle der Berufungen, Bildung fächerspezifischer Zentren, Mobilisierung privater Mittel und Ausbau nationaler und internationaler Kooperationen gekennzeichnet (Spenkuch 2010, S. 172). Er scharte einen Kreis von Beratern und Vertrauensleuten um sich, holte von ausgewiesenen Gutachtern Urteile ein und forderte bedeutende Gelehrte zu Vorschlägen zur künftigen Entwicklung ihrer Disziplin auf. Hubert Laitko charakterisiert Althoff daher treffend, er sei „eher ein operationaler als ein konzeptueller Denker, er war Praktiker, kein Theoretiker“ (Laitko 2008, S. 198). Der Ministerialbeamte pflegte zugleich enge Kontakte zur Industrie und es gelang ihm, diese als

Geldgeber zur Investition in Bildung und Forschung zu gewinnen (von Brocke 2012; S. 62f.; Vierhaus 1991, S. 198). Hauptsäule seiner Arbeit war die Vernetzung. Fast jeder der um 1910 im Deutschen Reich tätigen 3.500 Hochschullehrer hatte im Laufe seiner Karriere Kontakt mit Althoff gehabt (Laitko 1990, S. 8). Zugleich verfügte er über beste Verbindungen ins Zivilkabinett, ins Auswärtiges Amt, ins Finanzministerium, in die Parlamente und Parteien sowie auch zur Presse (von Brocke 2012, S. 63). Nicht umsonst galt Althoff als „heimlicher Kultusminister“ oder als „Bismarck des Hochschulwesens“ (Laitko 2008, S. 189).

Zu seinem Geschäftsbereich gehörten neben den Hochschulen und Universitäten auch die Königlich-Preußische Akademie der Wissenschaften, verschiedene Museen, die Berliner Sternwarte und schließlich das 1870 gegründete Königlich Preußische Geodätische Institut.

Internationales Prestige des Geodätischen Instituts

Auf Anregung des ehemaligen Leiters der Trigonometrischen Abteilung des Großen Generalstabs, Johann Jacob Baeyer (1794-1885), hatten 16 Staaten Mitteleuropas 1862 die Mitteleuropäische Gradmessung als eine der ersten außeruniversitären internationalen Wissenschaftsorganisation überhaupt gegründet. Baeyer stand seit 1866 dem Zentralbüro vor, welches die Arbeit der Organisation entscheidend prägte. Um die Aufgaben bewältigen zu können, plädierte Baeyer in einer gemeinsam mit dem Direktor der Berliner Sternwarte, Wilhelm Förster (1832-1921), verfassten und beim preußischen Kultusminister 1867 eingereichten Denkschrift für den Aufbau einer zentralen Vermessungsbehörde in Preußen, die alle geodätischen, erdmagnetischen und meteorologischen Messungen vereinen sollte. Diese Initiative führte 1870 zur Gründung des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts. Damit begann in Preußen die Trennung der wissenschaftlichen Geodäsie von der staatlich organisierten Landesvermessung, wobei die Aufgaben nur ansatzweise voneinander abgegrenzt wurden. Während letztere nach wie vor die Kartierung Preußens zur Aufgabe hatte, sollte das neue Forschungsinstitut einerseits die Aufgaben des Zentralbüros der Mitteleuropäischen Gradmessung erledigen und andererseits den preußischen Beitrag dazu leisten (Lerbs 1970, S. 11ff.; Torge 1994, S. 221; Laitko 1996; Buschmann 1996, S. 5f.).

Ein brisantes Problem blieben aber die permanenten Spannungen zwischen Baeyer mit seiner dominanten Persönlichkeit und der militärisch organisierten Preußischen Landesaufnahme, die er durch Reformvorschläge, Kritik an der Qualität ihrer Arbeiten und parallel durchgeführte Messtätigkeiten hervorgerufen hatte. Die Zuständigkeiten waren eben nicht klar voneinander getrennt gewesen. Zudem hatte sich Baeyer zeitlebens gegen einen Fortzug des Instituts aus Berlin positioniert, obwohl die Mieträumlichkeiten in jeglicher Hinsicht ungenügend waren. Die Mitglieder des wissenschaftlichen Beirats des Geodätischen Instituts, darunter auch Friedrich Robert Helmert, hatten bereits 1878 einen Umzug in ein neu zu errichtendes Gebäude auf den Telegrafenberg bei Potsdam vorgeschlagen. Dort war gerade der Neubau des Astrophysikalischen Observatoriums im vollen Gange (Lerbs 1970, S. 23f.; Tiemann 1991, S. 406f.). Baeyer gefährdete mit seiner Blockadehaltung nicht nur die Weiterentwicklung des Instituts, sondern auch die institutionelle Verstetigung der Verbindung des Geodätischen Instituts mit dem Zentralbüro der Europäischen Gradmessung, dessen Aufgaben seit den 1860er Jahren deutlich angewachsen waren. Und dieser Stillstand widersprach der von Althoff angestrebten international herausgehobenen Stellung der preußischen Wissenschaftslandschaft.

Denn im Gegensatz zu den zahlreichen anderen neu gegründeten Forschungseinrichtungen versprach gerade das Geodätische Institut mit seinen global ausgerichteten Forschungsthemen sowie der zentralen Rolle innerhalb der Europäischen Gradmessung internationales Prestige für die preußische Wissenschaft. Insbesondere die Personalunion des Institutsdirektors mit der Leitung des Zentralbüros der Europäischen Gradmessung unterstrich die herausgehobene Bedeutung. Baeyer war es eben nicht gelungen, diese Verbindung dauerhaft für Preußen zu sichern. Daher konnte es auch kein Selbstläufer werden, dass nach einem Ableben des mittlerweile hoch betagten Direktors wiederum ein preußischer Wissenschaftler zum Nachfolger bestimmt werden würde. Innerhalb der Permanenten Kommission hatten sich zudem vermehrt Stimmen geäußert, die Baeyers Amtsführung kritisierten und die Verbindung von Geodätischem Institut mit dem Zentralbüro aufheben wollten, um letzteres in die Schweiz oder nach Paris zu verlegen (Tiemann 1991, S. 410). Nach seiner Berufung ins Kultusministerium und noch zu Lebzeiten Baeyers ergriff Althoff daher die Initiative und bat den Berliner Astronom Prof. Wilhelm Förster (1832-1921), der bald zu seinen engsten Vertrauten zählte, um eine wissenschaftliche Stellungnahme zur Entwicklung des Geodätischen Instituts (Tiemann 1991, S. 407ff.). Für Althoff war der langjährige Stillstand bei der notwendigen Weiterentwicklung des Instituts keine Option.

Geodätisches Institut und preußische Wissenschaftspolitik

Nach dem Tod des 90jährigen Baeyers am 10. September 1885 stellte sich für Althoff daher die Aufgabe, das mit der Europäischen Gradmessung verbundene herausgehobene Renommee für Preußen zu bewahren und eine geeignete Person für die Leitung des Geodätischen Instituts zu finden, die zugleich als Direktor des Zentralbüros der Europäischen Erdmessung bei den Mitgliedstaaten Anerkennung finden würde. In einem von Althoff diktierten Schreiben des Kultusministers an Reichskanzler Otto von Bismarck (1815-1898) vom Juli 1886 formulierte er rückblickend seine Handlungsziele und offenbarte, wie er die Gunst der Stunde erfolgreich genutzt hatte: „Nach dem im September d. Jr. erfolgten Ableben Baeyer's mußte es mein Bestreben sein, die Verbindung des Zentral-Bureaus mit dem geodätischen Institute als eine wohlverdiente wissenschaftliche Ehrenstellung Preußens nach Möglichkeit zu erhalten. Zu diesem Zweck habe ich den kommissarischen Nachfolger Baeyer's, den Professor Helmert, einen der ausgezeichnetsten Geodäten der Gegenwart, veranlasst, die Geschäfte des Zentral-Bureaus einstweilen und bis auf weitere Bestimmung fortzuführen“ (GStA PK 5, 1886).

Wichtigster Verbündeter in diesem Prozess der dringend notwendigen Reorganisation des Geodätischen Instituts war der Astronom Foerster. Er hatte unmittelbar nach Baeyers Ableben den wissenschaftlich über jeden Zweifel erhabenen Helmert als einzigen in Frage kommenden Nachfolgekandidaten bei Kultusminister Gustav von Goßler (1838-1902) und Althoff ins Spiel gebracht. Foerster hatte zudem vorgeschlagen, die notwendige Neubesetzung ebenfalls zu nutzen, um den lähmenden Konflikt zwischen Geodätischem Institut und der Preußischen Landesaufnahme endgültig zu lösen (Tiemann 1991, S. 411). Helmert erschien nicht nur aufgrund seiner wissenschaftlichen Reputation geeignet, er war auch vom Konfliktfeld um Baeyer nicht belastet. Das waren vorteilhafte Voraussetzungen für die gewünschte dauerhafte Entflechtung der 1870 noch nicht klar voneinander getrennten Aufgabengebiete.

Althoff und Foerster zogen in den folgenden Wochen Ende 1885 und Anfang 1886 an einem Strang, um die Neuorganisation des Geodätischen Instituts und der Europäischen Gradmessung im preußischen Interesse in die Wege zu leiten. Ihre enge Zusammenarbeit ist

gut dokumentiert (Tiemann 1991). Sie zeigt, wie effizient das „System Althoff“ funktionierte. Neben der Stellungnahme von Foerster holte Althoff noch sechs weitere Fachgutachten ein, unter anderem vom international renommierten Astronom Arthur Auwers. Dieser hatte 1879 seinen ersten Fundamentalkatalog veröffentlicht, der bald zu einem Standardwerk der Positionsbestimmungen avancierte. Basierend auf diesen Stellungnahmen entwickelte Althoff ein auf den 19.12.1885 datiertes Positionspapier mit den „vorläufigen Ideen über die Grundzüge der Reorganisation“ (GStA PK 6, 1885). Um das weitere Vorgehen abzustimmen, lud der Ministerialbeamte die wichtigsten Personen zu Ende Dezember 1885 nach Berlin ein, ergänzt um Friedrich Robert Helmert, der sich dankbar zeigte, „daß ich über die Regelung der Verhältnisses des geodätischen Instituts meine Ansicht vorlegen darf“ (GStA PK 7, 1885).

Zwei Tage vor Heiligabend 1885 trafen sich schließlich Auwers, Foerster, Helmert, Althoff und Oskar Schreiber (1829-1905), seit 1875 Chef der Trigonometrischen Abteilung der Preußischen Landesaufnahme, in Berlin. Im engsten Kreis stimmten sie die nächsten Schritte ab. Sie verständigten sich auf die zentralen Eckpunkte bei der Reorganisation des Instituts: Das Amt des Direktors sollte gemäß der neuen inhaltlichen Verbindung von Forschung und Lehre mit einer ordentlichen Professur an der Berliner Universität verbunden und damit der seit 1877 bestehende wissenschaftliche Beirat aufgelöst werden; die praktische Vermessungstätigkeit übernahm künftig allein die Preußische Landesaufnahme, während das Institut fortan hauptsächlich wissenschaftlich beratend tätig sein sollte; der Sitz des Instituts sollte nach Potsdam in neue Forschungsräume auf den Telegrafenberg verlegt werden und es müsse seine internationale Funktion als Zentralbüro behalten. Helmert wurde zum 1. Januar 1886 mit der kommissarischen Leitung beauftragt werden. Bereits Ende 1885, also nur drei Monate nach Baeyers Tod, hatten die wichtigsten Protagonisten im Stile der Honoratiorenpolitik die wesentlichen Weichen für die Zukunft des Geodätischen Instituts politisch gestellt (GStA PK 8, 1885; Tiemann 1991, S. 412f.).

Während Althoff im Folgenden die Verhandlungen in den politischen Ressorts koordinierte, bereitete Auwers in seiner Eigenschaft als Sekretär der Physikalisch-mathematischen Klasse der Königlich-Preußischen Akademie der Wissenschaften dort den Boden für die Neuorganisation des Instituts. Schreiber wiederum informierte die militärischen Stellen und Foerster machte seinen Einfluss auf internationalem Parkett innerhalb der Gradmessungsorganisation geltend, wo er unter anderem mit der Androhung eines möglichen preußischen Ausscheidens die Befürworter eines Umzugs des Zentralbüros zunächst zum Schweigen brachte (Tiemann 1991, S. 412). Helmert hingegen kam in diesem Kreis aufgrund seiner geodätischen Fachexpertise die Aufgabe zu, unter den oben genannten Rahmenbedingungen das Institut wissenschaftlich neu aufzustellen. Er stimmte der provisorischen Leitung unter den Bedingungen zu, dass er diese Aufgabe auch von Aachen wahrnehmen dürfe und ihm dafür ein angemessenes Honorar zuzüglich Erstattung der Reise- und Aufenthaltskosten nach und in Berlin gebilligt werde (GStA PK 9, 1885).

In die Verhandlungen mit den anderen Akteuren war Helmert mit eingebunden und führte auf einer der beiden entscheidenden Beratungen am 15.3.1886 gar das Protokoll (GStA PK 10, 1886; Ihde/Reinhold 2017, S. 85f.), das im Ergebnis die Ende 1885 im kleinen Kreis beschlossenen Rahmenbedingungen weitgehend bestätigte. Die wichtigste inhaltliche Weichenstellung bestand neben der Verbindung des Institutsdirektorats mit einer ordentlichen Professur an der Berliner Universität und der Auflösung des wissenschaftlichen Beirats darin, dass das Institut in Zukunft keine Tätigkeiten mehr ausführen würde, die von der Preußischen Landesaufnahme (Grundlinienmessung, Triangulation, Nivellements) erledigt

wurden. Es hatte die praktischen Vermessungsarbeiten lediglich wissenschaftlich zu begleiten (GStA PK 11, 1886).

Um also den von Baeyer langjährig gehegten Konflikt mit der Landesaufnahme zu lösen, der bis dahin sowohl die Weiterentwicklung des Geodätischen Instituts als auch dessen Rolle innerhalb der Gradmessungsorganisation beeinträchtigt hatte, akzeptierte Helmert als designierter Direktor in Übereinstimmung mit den anderen Akteuren die dauerhafte Abtretung der klassischen geodätischen Feldmessungen an die Landesaufnahme. Zugleich bedeutete die Verbindung des Direktorats mit der neu eingerichteten Universitätsprofessur eine klare Aufwertung dieser Leitungsposition. Mit der Auflösung des wissenschaftlichen Beirats erhielt Helmert zukünftig eine noch größere Freiheit in der Ausrichtung der Forschungsarbeiten des Instituts.

Althoff hatte Helmert als geodätischen Experten für diese fachliche Neuausrichtung unter den vorab abgestimmten Rahmenbedingungen weitgehend freie Hand gelassen. Gemeinsam mit Foerster erarbeitete er ein neues Statut für das Geodätische Institut, das deutlich Helmersts Handschrift erkennen lässt. Darin konnte er seine eigenen wissenschaftlichen Forschungsinteressen maßgeblich mit einfließen lassen (Lerbs 1970, S. 32f.; Reigber 2017, S. 17). Das Geodätische Institut sollte sich demnach auf die Bereiche der Höheren Geodäsie, also die Fragen nach der wissenschaftlichen Vermessung der ganzen Erde unter Berücksichtigung der Erdkrümmung und einschließlich der Bestimmung des Erdschwerefeldes konzentrieren. Die deutliche Abgrenzung von der sogenannten Niederen Geodäsie, die – beispielsweise wie die Preußischen Landesaufnahme – nur begrenzte Teile der Erde vermaß und kartierte, innerhalb der die Erdkrümmung oft vernachlässigt werden konnte, war für Helmert genauso folgerichtig für die wissenschaftliche Neuausrichtung des Instituts wie die lose Anbindung an die Königlich-Preußische Akademie der Wissenschaften. Die teils bereits vor und dann unmittelbar nach Baeyers Tod geäußerten strategischen Ideen Foersters und Althoffs zur Reorganisation deckten sich also weitgehend mit den fachlichen Vorstellungen Helmersts. Der Entwurf des neuen Statuts traf folglich auf Althoffs uneingeschränkte Zustimmung (Tiemann 1991, S. 413f.).

Das Vorgehen Althoff unterstreicht das taktische Vorgehen des Ministerialbeamten. Um herausragende Wissenschaftler in Preußen zu halten oder nach Preußen zu locken, ermöglichte er ihnen den Aufbau eines eigenen Instituts für ihre wissenschaftlichen Forschungen, wie zum Beispiel das Institut für Infektionskrankheiten für Robert Koch (1843-1910) oder auch das Institut für Serumforschung und Serumtherapie für Paul Ehrlich (1854-1915). In Althoffs Amtszeit wurde allein die Universität Berlin von 38 auf 81 Institute ausgebaut (von Brocke 1980; von Brocke 2012, S. 95f.; Vierhaus 1991, S. 198f.). Und Helmert hatte er aufgrund dessen unbestrittener Fachexpertise die wissenschaftliche Neuausrichtung des Geodätischen Instituts weitgehend überlassen.

Das neue Statut des Geodätischen Instituts trat schließlich am 1.2.1887 in Kraft und richtete die Einrichtung zukunftsweisend auf die Forschung aus (Tiemann 1990, S. 62). Nachdem die Preußische Landesaufnahme die Qualität ihrer Messungen verbessert hatte, akzeptierte auch die Internationale Erdmessung ihre Ergebnisse (Torge 2005, S. 367). Die Reorganisation des Geodätischen Instituts in den Jahren 1885 bis 1887 ist zugleich einer der wesentlichen Gründe für die viele Jahrzehnte danach gelebte Trennung der praktischen (niederen) von der theoretisch-experimentellen (höheren) Geodäsie. Helmert bewertete die weitgehende Entkopplung der praktischen Vermessungsarbeiten aber nicht in erste Linie als Einschränkung des Wirkungskreises, sondern als Erweiterung des „wissenschaftlichen Teils der Tätigkeit“ (Helmert 1913, S. 9). Dass die erfolgte Abgrenzung aber bereits

unter Fachkollegen nicht unbeschränkt positiv bewertet wurde, wird in einer Äußerung von Ernst Kohlschütter (1870-1942), in den 1920er Jahren selbst Institutsdirektor, deutlich, der nach dem Ersten Weltkrieg diesen Schritt rückgängig zu machen suchte: „Die Vereinbarung über das Verhältnis zwischen dem Königlich Geodätischen Institute und der Königlich Landesaufnahme vom 5. Februar 1887, [...], war ausschließlich gegen das Geodätische Institut gerichtet und bedeutete seinerzeit eine Knebelung und einen Zwang zur Umstellung des Institutes“ (GStA PK 12, 1924). Zu Lebzeiten Helmerts blieb das Verhältnis zur Landesaufnahme allerdings klar geregelt, mit Oskar Schreiber entwickelt sich ein konfliktarmes Einvernehmen. Für den militärischen Bereich war die erzielte Einigung gar so bedeutsam, dass Generalfeldmarschall Helmuth von Moltke (1800-1891) persönlich sein Einverständnis erklärte und dem Kultusminister für das „gütige Entgegenkommen bei der Lösung dieser Frage“ dankte (GStA PK 13, 1886).

Auf der 8. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung im Oktober 1886 in Berlin gelang es hauptsächlich aufgrund des in den Monaten zuvor erfolgten engagierten Einsatzes von Foerster, die herausragende internationale Stellung des Geodätischen Instituts durch die weitere Verbindung mit den Zentralbüro der Internationalen Erdmessung strukturell langjährig zu sichern (Tiemann 1991, S. 415ff.; Reigber 2017, S. 14ff.; Ihde/Reinhold 2017, S. 86f.).

Es ist Althoffs Verdienst, mit Helmert den fachlich unbestritten besten Nachfolgekandidaten nach Berlin gelotst zu haben (Tiemann 1991, S. 419). Seine Zusage erwirkte Althoff, indem er dem Wissenschaftler zunächst ermöglichte, das Geodätische Institut nach seinen wissenschaftlichen Vorstellungen auszurichten. Zugleich setzte Althoff in der für ihn „typischen eigenwilligen Art und Weise“ ein entsprechendes Ordinariat für Höhere Geodäsie an der Berliner Universität durch (Tiemann 1991, S. 414 und 419; von Brocke 2012, S. 72ff.). Die Stärkung der Berliner Universität durch einen international anerkannten Wissenschaftler, der zugleich einem außeruniversitären Forschungsinstitut vorstand, folgte einem weiteren typischen Muster der Wissenschaftspolitik Althoffs: So „ist an der Universität Berlin eine ordentliche Professur für Geodäsie begründet worden. Dies ist geschehen, um die Direktion des Geodätischen Instituts ebenso, wie eine derartige Einrichtung bereits hinsichtlich des Meteorologischen Instituts besteht, mit einer Professur an der Universität zu vereinigen“ (GStA PK 1, 1887). Helmerts Berufung nach Berlin ist in eine Reihe mit der Berufung von zahlreichen anderen namhaften Wissenschaftlern wie Robert Koch (Medizin, 1885), Adolf Harnack (Theologie, 1888) oder Max Planck (Theoretische Physik, 1889) einzuordnen. Die informellen Netzwerke Althoffs funktionierten erstaunlich effizient. Und auch Helmert bewegte sich bald routiniert innerhalb der wissenschaftspolitischen Kreise. Die Bitte um notwendige Stellungnahme der Akademie der Wissenschaften zu seiner Berufung als Professor wurde vorab zwischen Helmert und Althoff vertraulich abgestimmt: „Der Entwurf Ihres Schreibens an die Akademie (oder vielmehr: ihr Entwurf eines Schreibens an die Akademie) folgt anbei zurück“ (GStA PK 14, 1887).

Die endgültige Übertragung des Institutsdirektorats war noch abhängig von der tatsächlichen Besetzung der Professur mit Helmert. Seine Bestellung erfolgte am 15. April 1887, sieben Tage später übertrug der Kultusminister ihm schließlich die Leitung des Geodätischen Instituts. Am 27.4.1887 bedankte sich Helmert bei Althoff für die erfolgte Ernennung und die Erhöhung des zunächst reduzierten Institutsetats: „Auch die Verbindung mit der Universität, welche Sie zuerst anregten, erscheint mir immer vorteilhafter, je länger ich hier in Berlin bin, und ich bin Ihnen dafür nicht zum wenigsten dankbar“ (GStA PK 15,

1887). Mit der übertragenen Professor war eine Besoldung von 6.000 Mark im Jahr verbunden, mit dem Posten des Institutsdirektors kamen noch einmal 4.500 Mark dazu (GStA PK 16, 1887). Damit war es Helmert gelungen, sein Anfangsgehalt von 1870 an der Polytechnischen Schule in Aachen von 1.000 Mark (GStA PK 17, 1870) mehr als zu verzehnfachen. Der Wechsel nach Berlin zahlte sich also auch finanziell aus und Helmert erreichte etwa das Besoldungsniveau des ehemaligen Generalleutnants Baeyer (12.000 Mark). Damit gehörte Helmert mit 44 Jahren bereits zu den Spitzenverdienern unter den preußischen Ordinarien (von Brocke 2012, S. 64f.).

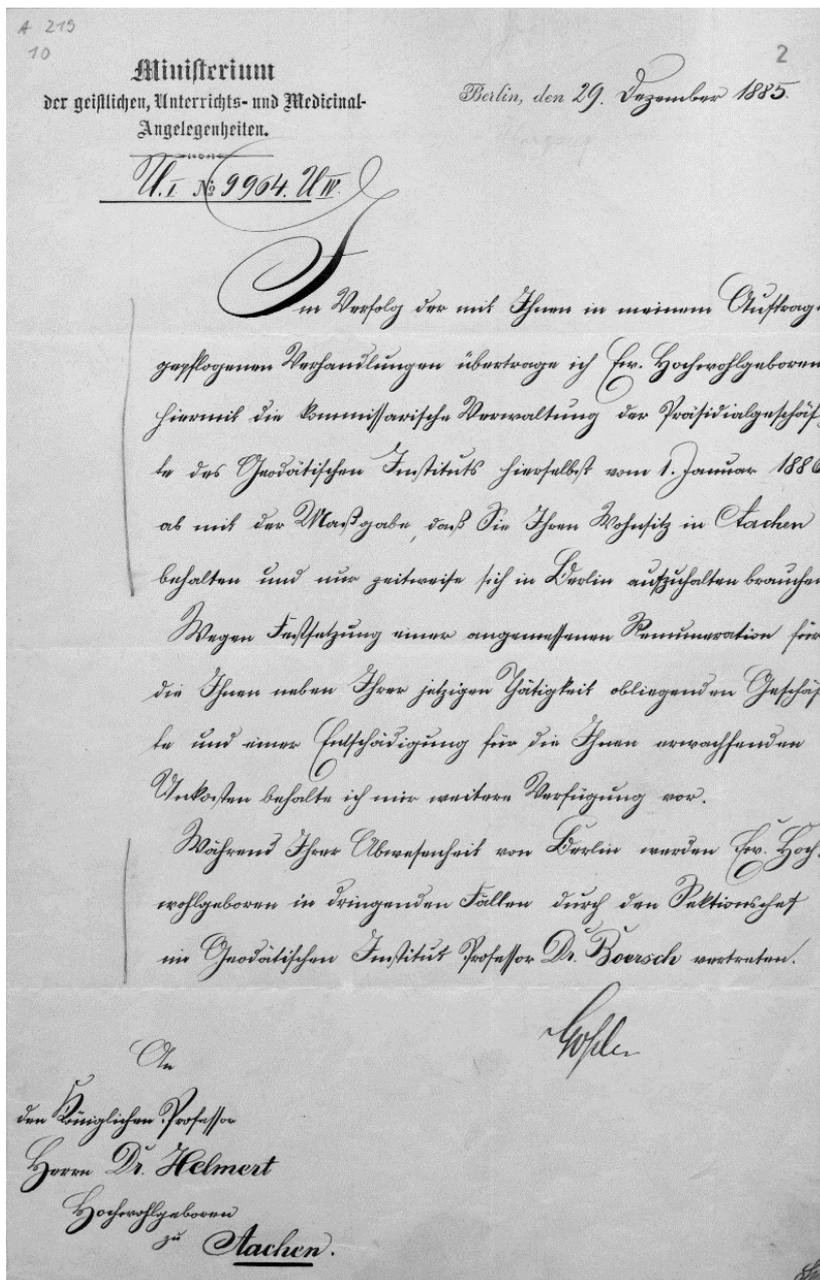


Abb. 1: Ernennung Helmerts zum kommissarischen Direktor des Geodätischen Instituts durch Minister Goßler, 29. Dezember 1885 (© Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Rep 465, ZIPE, A 219)

Die Bedeutung des Instituts und der erreichte Erfolg mit der Reorganisation wurde vom Kultusminister von Goßler gegenüber dem deutschen Kaiser und preußischen König Wilhelm I. (1797-1888) ausdrücklich hervorgehoben: In Zukunft werde die vorher nur durch Baeyer vermittelte „Führerstellung Preußens im Bereich der Internationalen Erdmessung zu einer dauerhaften, von dem Wechsel der Personen unabhängigen Einrichtung. Gleichen Schritt mit dieser erfreulichen Entwicklung der internationalen Beziehungen hat auch die Reorganisation des Geodätischen Instituts als einer inneren preußischen Anstalt gehalten. Die bezüglichen Arbeiten sind zum Abschlusse

reif und zwar, wie ich schon jetzt sagen darf, zu einem sehr befriedigenden Abschlusse, indem der schädliche und kostspielige Dualismus zwischen dem geodätischen Institut und der Landesaufnahme, der zu so vielen unerquicklichen Differenzen geführt hat, in Zukunft wegfallen und das Geodätische Institut sich fernerhin umso eifriger seinen wissenschaftlichen Aufgaben zuwenden kann und auf diese Weise in den Stand kommen wird, Hand in Hand mit der Landesaufnahme fördernd zu wirken, statt wie bisher mit derselben nutzlos zu rivalisieren“ (GStA PK 18, 1886).

Althoff und Helmert

Althoff ist es also gelungen, in den gerade einmal eineinhalb Jahren vom Tod Baeyers bis zur Ernennung Helmerts zum Direktor des neu aufgestellten Geodätischen Instituts seine wissenschaftspolitischen Ziele mit Hilfe seines weit verzweigten Netzwerkes zu erreichen. Der Konflikt mit der Landesvermessung war dauerhaft beigelegt, die herausgehobene Stellung des Instituts – und damit Preußens – innerhalb der Internationalen Erdmessung auf Jahre abgesichert und mit Helmert hatte er die wichtige Direktorenstelle wissenschaftlich exzellent besetzt. Mit dem Bau der neuen Forschungsgebäude auf dem Telegrafenberg bei Potsdam, welche das Geodätische Institut schließlich 1892 beziehen konnte, waren nun neben zahlreichen Büroräumen sowie bestens ausgestatteten Labor- und Messräumen optimale Bedingungen zur Erzielung wegweisender Forschungsergebnisse geschaffen, die Helmert in den folgenden Jahren auch zu nutzen wusste (Buschmann 1993a, S. 249; Torge 2009, S. 239; Reigber 2017, S. 18ff.). Die zweifelsohne bekannteste ist die absolute Bestimmung der Erdschwere, die vom Geodäten Friedrich Kühnen (1858-1940) und dem Mathematiker Philipp Furtwängler (1869-1940) zwischen 1898 und 1904 durchgeführt wurde. Helmert begann bereits 1894 mit den ersten Voruntersuchungen. Die 1906 publizierten Potsdamer Ergebnisse der absoluten Erdschwere waren in ihrer Exaktheit weltweit einmalig. Der „Potsdamer Schwerewert“ wurde daraufhin auf der 16. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung 1909 als Weltreferenzwert anerkannt (Höpfner 2012). Das Geodätische Institut galt als Zentrum der Geodäsie mit globaler Ausstrahlung. Viele Jahrzehnte blieb diese bahnbrechende Forschung untrennbar mit dem Geodätischen Institut Potsdam im Allgemeinen und dem Wissenschaftsstandort Preußen im Besonderen verbunden.

Helmert wusste, wem er das zu verdanken hatte. Ohne Althoff wäre diese Entwicklung so nicht möglich gewesen. Nach einem Rundgang durch die Forschungsgebäude auf dem Telegrafenberg im Zuge einer Erdmessungskonferenz schrieb er: „Schade, daß Sie heute nicht hier waren. Sie würden dann Zeuge gewesen sein, wie man das alles zu schätzen weiß, was wir hier besitzen und leisten. Selbst die Franzosen waren entzückt und erklärten alle rundweg dergleichen nicht zu besitzen. An Geheimrath Althoff haben wir telegraphiert; es wird ihn freuen, da er hauptsächlich uns zu allem verholfen hat“ (GStA PK 19, 1895). An Althoff direkt formulierten Foerster und Helmert: „Wir beide wissen, wie viel [...] wir ihnen zu danken haben. In treuester Gesinnung, Helmert u. Förster“ (GStA PK 20, 1895).

Auch in den folgenden Jahren blieben die Kontakte zwischen Helmert und Althoff eng. Der Geodät konnte sich der Unterstützung des Kulturministeriums gewiss sein. Zahlreiche seiner Denkschriften und Eingaben liefen über Althoffs Schreibtisch. Bereits 1893 wurde Helmert der Charakter eines Geheimen Regierungsrats verliehen. Mit der Ernennung zum Ordentlichen Mitglied der Akademie der Wissenschaften im Jahre 1900 wurde er endgültig in den inneren Kreis der preußischen Wissenschaftselite aufgenommen. Er war das erste Ordentliche Mitglied mit der Berufsbezeichnung „Geodät“ (Buschmann 1993c, S. 12). Das Verhältnis zwischen dem Geodätischen Institut und der Akademie hatte sich unter Helmert im Laufe der Jahre deutlich verbessert, denn 1892 hatte er noch die zur Aufnahme notwendige Stimmenzahl verfehlt (Ihde/Reinhold 2017, S. 88).

Auch in Mitarbeiterfragen suchte er immer wieder das Kultusministerium um Unterstützung (GStA PK 21, 1890). Gerade die Schaffung von festen Mitarbeiterstellen beschäftigte ihn als Direktor mehrfach. An das Kultusministerium adressiert klagte er einmal: „Die jungen Mathematiker und selbst Astronomen haben mehrfach den Ansprüchen der Geodäsie nicht

entfernt genügt. Es wird mir aber das Heranziehen künftiger junger Kräfte umso schwieriger, als bereits seit Jahren ein halbes Dutzend außeretatmäßiger Assistenten [...] im Durchschnittsalter von 30 Jahren auf ein Aufrücken in etatsmäßige Stellen warten. Sobald der Überschuss der Kandidaten des höheren Schulamts für Mathematik und Naturwissenschaft aufgebraucht sein wird, wird das Institut – wie es schon vor 15 Jahren einmal der Fall war – sehr große Mühe haben, geeignete Kräfte heranzuziehen. Jetzt ist es noch gelungen, solche zu beschaffen, jedoch haben schon zwei sehr brauchbare junge Männer das Institut wegen der Aussichtslosigkeit des Aufrückens in etatsmäßige Stellen wieder verlassen“ (GStA PK 22, 1890).

Helmert erfüllte die mit seiner Berufung nach Berlin verbundenen Erwartungen bis zu seinem Tod 1917 über die Maßen. Die Verleihung der goldenen Medaille der Wissenschaft im Jahr 1912, einer von etwa 25 Orden und Auszeichnungen war in jedem Fall ein besonderes Zeichen der Anerkennung seiner außergewöhnlichen Lebensleistung. Helmert war Mitglied in 26 wissenschaftlichen Vereinigungen und Akademien (Schweydar 1917, S. 646). Anlässlich seines 70. Geburtstages schrieb der Österreichische Geodät Eduard Dolezal (1862-1955): „Die Leistungen Helmersts in der Geodäsie sind hervorragend. [...] Möge die Allmacht dem größten lebenden Geodäten Deutschlands noch lange Jahre schenken, möge sie ihn arbeits- und schaffensfreudig erhalten zum Wohle der geodätischen Wissenschaft!“ (Dolezal 1913). Die herausgehobene internationale Stellung des Geodätischen Instituts Potsdam endete mit dem Tod Helmersts 1917 und der kriegsbedingten Einstellung der Arbeit der Internationalen Erdmessung ein Jahr zuvor (Reigber 2017, S. 23). Und mit dem Ersten Weltkrieg ging auch die Althoff-Welt unter (Laitko 2008, S. 205).

Quellen- und Literaturverzeichnis

Backhaus, J. G. (1992): Die Internationalisierung des Wissenschaftssystems zur Zeit des Nationalstaates. Eine ökonomische Analyse d. Althoff-Systems, in: Bellers, J. (Hrsg.): "Innen" und "Außen" in der deutschen Geschichte. Innere gesellsch. sowie polit. Entw. in Dtl. u. dessen Außenbeziehungen, Münster/Hamburg, S. 31-75.

Berthold, A. (1943): Das Lebenswerk des überragenden Meisters der Erdmessung F. R. Helmert, in: Zeitschrift für Geophysik 18, S. 87-99.

v. Brocke, B. (1980): Hochschul- und Wissenschaftspolitik in Preußen und im Deutschen Kaiserreich 1882–1907. Das „System Althoff“, Stuttgart.

v. Brocke, B. (1991), Hrsg.: Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftspolitik im Industriezeitalter. Das "System Althoff" in historischer Perspektive, Hildesheim.

v. Brocke, B. (2012): Berufungspolitik und Berufungspraxis im Deutschen Kaiserreich, in: Hesse, C. (Hrsg.): Professorinnen und Professoren gewinnen. Zur Geschichte des Berufungswesen an den Universitäten Mitteleuropas, Basel, S. 55-103.

Buschmann, E. (1993a): Ein Jahrhundert Geodäsie in Potsdam, in: Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 100 (7), S. 247–265.

Buschmann, E. (1993b): F. R. Helmersts Bewerbung bei J. J. Baeyer, in: Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 10, S. 385–390.

Buschmann, E. (1993c): Zur Einführung, in: Helmert, Friedrich R.: Akademie-Vorträge. (Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen Reihe 1, 109), Frankfurt am Main.

Buschmann, E. (1996/1997): Einst auf dem Potsdamer Telegrafenberg, in: Vermessung Brandenburg, Nr. 2 (1996), S. 5-17 und Nr. 1 (1997), S. 50-62.

Dolezal, E. (1913): Zum 70. Geburtstage Helmersts, in: Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen XI (8), S. 233–234.

Eggert, O. (1917): Friedrich Robert Helmert †, in: Zeitschrift für Vermessungswesen 46 (10), S. 282–295.

GStA PK 1 (1887): Goßler, G., Schreiben des Ministers an den preuß. König betreffend die Einrichtung einer Professur für Helmert und Übertragung der Direktion des Geodätischen Instituts, HA I Rep. 76 Va Sekt. 2 Tit. IV Nr. 61 Bd. 1, 1887, Bl. 300–301.

GStA PK 2 (1870): Polytechnische Schule Aachen, Entwicklung des Verfassungsstatuts und der Verwaltungsregularien der königlich Polytechnischen Schule zu Aachen, in: GStA PK, HA I Rep. 76 Vb Sekt. 6 Tit. I Nr. 1 Bd. 5, 1870.

GStA PK 3 (1881): Gizycki, A., Schreiben vom 10.11.1881 an Minister von Goßler die Erhöhung des Gehalts von Helmert betreffend. GStA PK, HA I Rep. 76 Vb Sekt. 6 Tit. III Nr. 1 Bd. 9, 1881.

GStA PK 4 (1881): Helmert, F. R., Schreiben Helmerts an Rektor von Gizycki vom 7.11.1881 seinen Ruf nach Karlsruhe betreffend (Abschrift). GStA PK, HA I Rep. 76 Vb Sekt. 6 Tit. III Nr. 1 Bd. 9, 1881.

GStA PK 5 (1886): Althoff, F.: Entwurf vom 23.7.1886 für ein Schreiben an Bismarck die Übertragung von Aufgaben an Helmert betreffend. GStA PK, HA VI NI. Althoff, F.T. 277, Bl. 29–31, 1886.

GStA PK 6 (1885): Geodätisches Institut. Vorläufige Ideen über die Grundzüge der Reorganisation. GStA PK, HA 1 Rep 76 Sek. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 12, 1885, Bl. 44ff.

GStA PK 7 (1885): Helmert, F. R.: Schreiben vom 9.12.1885 an Althoff seine Reise nach Berlin zur Besprechung über die Reorganisation des Geodätischen Instituts betreffend. GStA PK, HA VI NI. Althoff, F.T. 762, Bl. 2, 1885.

GStA PK 8 (1885): Aktennotiz zum Treffen am 22.12.1885. GStA, HA I Rep. 76 Sekt. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 12, 1885, Bl. 46.

GStA PK 9 (1885): Vereinbarung Helmert/Althoff 22.12.1885. GStA HA 1 Rep 76 Sek. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Band 12, Bl. 65

GStA PK 10 (1886): Helmert, F. R., Protokoll über Beratungen am 15.3.1886 und 17.3.1886 über Abgrenzung zwischen Geodätischem Institut und Landesaufnahme. GStA PK, HA I Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5f Bd. 1, Bl. 8–13.

GStA PK 11 (1886): Kultusministerium, Vereinbarung über das Verhältnis des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts und der Landesaufnahme. GStA PK, HA I Rep. 89 Nr. 21322, Bl. 132, 1886.

GStA PK 12 (1924): Kohlschütter, E., Schreiben an den Minister für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung vom 24.4.1924 die Abgrenzung zur Landesaufnahme betreffend. GStA PK, HA I Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 20, Bl. 264, 1924.

GStA PK 13 (1886): Moltke, H., Einverständniserklärung des Chefs des Generalstabes des Heeres über Abgrenzung der Aufgaben des Geodätischen Instituts und der Landesaufnahme vom 3.12.1886. GStA PK, HA I Rep. 89 Nr. 21322, Bl. 130, 1886.

GStA PK 14 (1887): Helmert, F. R., Schreiben von Helmert an Althoff vom 9.3.1887 die Stellungnahme der Akademie der Wissenschaften betreffend. GStA PK, HA VI NI. Althoff, F.T. 762, Bl. 24, 1887.

GStA PK 15 (1887): Helmert, F. R., Dankschreiben vom 27.4.1887 zur Ernennung an Althoff. GStA PK, HA VI NI. Althoff, F.T. 762, Bl. 30, 1887.

GStA PK 16 (1887): Kultusministerium, Entwurf des Schreibens an Helmert vom 22.4.1887 über Bestallung zum Professor, GStA PK, HA I Rep. 76 Va Sekt. 2 Tit. IV Nr. 61 Bd. 1, Bl. 309–312, 1887.

GStA PK 17 (1870): Bardeleben, M., Berufung des Dr. Helmert in Hamburg als Lehrer an die polytechnische Schule in Aachen zum 1.10.1870, GStA PK, HA I Rep. 76 Vb Sekt. 6 Tit. III Nr. 1 Bd. 2, 1870.

GStA PK 18 (1886): Goßler, G., Schreiben an preuß. König über Konferenz der Internationalen Erdmessung 1886 und Bitte um Ordensverleihung vom 13.12.1886. GStA PK, HA I Rep. 89 Nr. 21322, Bl. 122-125, 1886.

GStA PK 19 (1895): Helmert, F. R., Schreiben vom 3.10.1895 (Abschrift) über Besichtigung des Instituts in Potsdam im Rahmen der XI. Konferenz der Internationalen Erdmessung. GStA PK, HA VI NI. Althoff, F.T. 762 Bl. 53, 1895.

GStA PK 20 (1895): Förster/Helmert, Telegramm an Althoff 1895. GStA PK, VI NI. Althoff, F. T. 762, Bl. 54.

GStA PK 21 (1890): Helmert, F. R., Schreiben an Minister von Goßler über Auseinandersetzung mit Prof. Seibt vom 30.9.1890, GStA PK, HA I Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. XI Teil 2 Nr. 5 Bd. 13 Bl. 274- 277, 1890.

GStA PK 22 (1890): Helmert, F. R., Schreiben an Minister von Goßler vom 5.8.1890 die 4. Sektionsleiterstelle des geodätischen Instituts betreffend. GStA PK, HA I Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. XI Teil 2 Nr. 5 Bd. 13, Bl. 247-250, 1890.

- Helmert, F. R. (1868): Studien über rationelle Vermessungen auf dem Gebiete der höheren Geodäsie, Leipzig.
- Helmert, F. R. (1913): Die Internationale Erdmessung in den ersten fünfzig Jahren ihres Bestehens, in: Internationale Monatsschrift für Wissenschaft Kunst und Technik (Januar), S. 1–28, 1913.
- Höpfner, J. (2012): Absolute Bestimmung der Schwere mit Reversionspendeln in Potsdam 1898 –1904 und 1968 –1969, in: Deutsche Gesellschaft für Chronometrie, Jahresschrift 2012, Bd. 51, S. 101- 114.
- Ihde, J./Reinhold, A. (2017): Friedrich Robert Helmert, founder of modern geodesy, on the occasion of the centenary of his death, in: History of Geo- and Space Sciences 8, S. 79–95.
- Laitko, H. (1990): Alexander von Humboldt und Friedrich Althoff: Zur Tradition selektiver Wissenschaftssteuerung durch Förderung von Hochbegabungen, in: Richter, J. (Hrsg.): Friedrich Althoff. 1839 - 1908. Beiträge zum 58. Berliner Wissenschaftshistorischen Kolloquium, 6. Juni 1989. Als Ms. gedr. Berlin: Inst. für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft, S. 1–15.
- Laitko, H. (1991): Friedrich Althoff und die Wissenschaft in Berlin. Konturen einer Strategie, in: v. Brocke, B. (Hrsg.): Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftspolitik im Industriezeitalter. Das "System Althoff" in historischer Perspektive, Hildesheim, S. 69-85.
- Laitko, H. (1996): Johann Jacob Baeyer, die internationale Stellung des preußischen Vermessungswesens und die Mitteleuropäische Gradmessung. Mosaiksteine zum Bild eines komplexen Geschehens, in: Dahlemer Archivgespräche 1, S. 58–78.
- Laitko, H. (2008): Friedrich Althoff und seine Professoren. Oder die Dreieinigkeit von Information, Intuition und Supervision, in: Banse, G. (Hrsg.): Von Aufklärung bis Zweifel. Beiträge zu Philosophie, Geschichte und Philosophiegeschichte (Festschrift für Siegfried Wollgast), Berlin, S. 189-227.
- Lerbs, L. (1970): Über die Entwicklung des Geodätischen Instituts Potsdam von der Gründung 1870 bis zur Eingliederung in das Zentralinstitut für Physik der Erde 1969, Diss. (Masch.), Potsdam.
- Löschner, F./Wolf, H. (1970): Helmert's Entwicklung und Bedeutung als Lehrer der praktischen Geometrie. Die wissenschaftliche Ausstrahlung Helmert's in die Gegenwart, Aachen (Veröffentlichungen des Geodätischen Instituts der Rheinisch-Westfaelischen Technischen Hochschule Aachen 18).
- Lundgreen, P. (1986): Staatliche Forschung in Deutschland 1870-1980, Frankfurt/New York.
- Moritz, H. (2014): Helmert, Bruns, Einstein. Vortrag auf dem Kolloquium „Wissenschaftliche Geodäsie und ihre Geschichte“ am 14. September 2012 in Berlin. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin 118, S. 195–202.
- Peschel, H. (1967): Gedenkrede zu Helmerts 50. Todestag am 15. Juni 1967 in Freiberg. Vermessungstechnik 15 (9), S. 334–340.
- Petri, F./Droege, G. (1979): Rheinische Geschichte: Wirtschaft und Kultur im 19. und 20. Jahrhundert, Düsseldorf.
- Platen, H./Torge, W. (1993): Zum 150. Geburtstag von Friedrich Robert Helmert, in: Zeitschrift für Vermessungswesen 118 (12), S. 581.
- Reigber, C. (2017): Friedrich Robert Helmert 1843-1917. Ausschnitte aus seinem Lebensweg und seinem internationalen Wirken, in: Weiß, E. (Hrsg.): Friedrich Robert Helmert - zum 100. Todestag. 13. Symposium der Vermessungsgeschichte am 13.02.2017 im Museum für Kunst und Kulturgeschichte, veranstaltet vom Förderkreis Vermessungstechnisches Museum e.V., Dortmund, S. 6-27.
- Schweydar, W. (1917): Friedrich Robert Helmert, in: Die Naturwissenschaften. Wochenzeitschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik 5 (42), S. 646–648.
- Spenkuch, H. (2010): Die Politik des Kultusministeriums gegenüber den Wissenschaften und Hochschulen, in: Neugebauer W. (Hrsg.): Acta Borussica. Neue Folge. 2. Reihe: Preussen als Kulturstaat. Herausgegeben von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Berlin/Boston, S. 135–288.
- Tiemann, K.-H. (1991): Die Zusammenarbeit von Friedrich Althoff und Wilhelm Foerster bei der Reorganisation des preußischen Geodätischen Instituts und der Europäischen Gradmessung zur Internationalen Erdmessung 1885/1886, in: vom Brocke, B. (Hrsg.): Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftspolitik im Industriezeitalter. Das "System Althoff" in historischer Perspektive, Hildesheim, S. 405–424.
- Torge, W. (1994): Die Geodäsie im Übergang zur international organisierten Wissenschaft: Zum 200. Geburtstag von Johann Jacob Baeyer, in: Zeitschrift für Vermessungswesen 119 (10), S. 513–522.
- Torge, W. (2005): Der lange Weg der preußischen Landesvermessung: zum 100. Todestag von Oscar Schreiber (1829–1905), in: Zeitschrift für Vermessungswesen 130 (6), S. 359–371.

Torge, W. (2009): Geschichte der Geodäsie in Deutschland, Berlin/New York.

Vierhaus, R. (1991): Zur Entwicklung der Wissenschaften im Deutschen Kaiserreich (1870-1914), in: Rumpler, H. (Hrsg.): Innere Staatsbildung und gesellschaftliche Modernisierung in Österreich und Deutschland 1867/71 bis 1914, München, S. 194-204.

Weiß, E. (2017), Hrsg.: Friedrich Robert Helmert - zum 100. Todestag. 13. Symposium der Vermessungsgeschichte am 13.02.2017 im Museum für Kunst und Kulturgeschichte, veranstaltet vom Förderkreis Vermessungstechnisches Museum e.V., Dortmund.

Witte, B. (2017): Friedrich Robert Helmert in memory of his 100th year of death, in: International Journal on Geomathematics 8, Nr. 2, S. 153–168.

Wolf, H. (1993): Friedrich Robert Helmert - sein Leben und Wirken, in: Zeitschrift für Vermessungswesen 118 (12), S. 582-590.

Grenzen der Genauigkeit. Helmert und die Längenmessung

Sibylle Itzerott und Johannes Leicht

Zusammenfassung

Am Beispiel zweier Längenmessungen der Mitarbeiter des Königlich-Preußischen Geodätischen Instituts, der Neuvermessung der Bonner Basislinie 1892 und der transatlantischen Bestimmung der Entfernung zwischen Amerika und Europa 1914, wird das Streben nach höchster Genauigkeit in den Vermessungsmethoden an der Wende zum 20. Jahrhundert gezeigt. Anhand von Archivquellen aus dem Brandenburgischen Landeshauptarchiv (BLHA) Potsdam und dem Geheimen Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz (GStA PK) kann anschaulich dargestellt werden, welche wissenschaftlichen Überlegungen, technologischen Entwicklungen aber auch administrativen Planungsschritte für die erfolgreiche Durchführung der Expeditionen notwendig waren. Kenner der modernen Wissenschaftslandschaft werden die überraschende Ähnlichkeit zu heutigen Planungsschritten feststellen.

Einleitung

Friedrich Robert Helmert war nicht nur ein exzellenter Wissenschaftler, sondern auch ein strategisch geschickter Wissenschaftsorganisator. Als Direktor des Königlich-Preußischen Geodätischen Instituts schaffte er es immer wieder, auch außergewöhnliche Forschungsprojekte für sein Institut einzuwerben. Sein wissenschaftlicher Anspruch war dabei nicht nur fachlich fundierte Ergebnisse zu liefern, sondern immer wieder auch die messtechnischen Grenzen der Genauigkeit auszureizen. Am Beispiel von zwei für das Institut bedeutenden Längenmessprojekten – die Neuvermessung der Bonner Basislinie mit dem institutseigenen Basisapparat 1892 sowie die transatlantische Bestimmung der Entfernung zwischen Amerika und Europa 1914 – kann anschaulich gezeigt werden, wie Helmert und seine Kollegen vorgehen, um die Projekte im Wettbewerb mit anderen Forschungseinrichtungen und zum Teil auch gegen unterschiedliche Widrigkeiten für das Institut zum Erfolg zu führen. Denn im ausgehenden 19. Jahrhundert und Anfang des 20. Jahrhunderts galten die wissenschaftlichen Ergebnisse des Geodätischen Instituts Potsdam in Exaktheit und Genauigkeit innerhalb der Internationalen Erdmessung als unübertroffen.

Maximale Genauigkeit und detaillierteste Beschreibung und Verfolgung der Fehlergrößen waren schon damals bei der Durchführung geodätischen Messungen höchstes Ziel. Das ist nicht verwunderlich wenn man bedenkt, dass bei der Größe unserer Erde nicht alles direkt und immer wieder neu gemessen werden kann. Zu den hier beschriebenen Zeiten war die Qualität der Ergebnisse noch ganz wesentlich von der Sorgfalt und dem Können sowohl des Beobachters als auch des Rechenassistenten geprägt. Sei es die Ablesung an der Messlatte am Basisapparat oder die Zeitpunktbestimmung des Fadendurchganges eines Sternes im Passageinstrument, der wissenschaftliche Anspruch nach höchster Präzision hat einen erheblichen technischen, finanziellen, zeitlichen und auch personellen Aufwand nach sich gezogen, der gegenwärtig kaum noch vorstellbar ist. Umso interessanter scheint die mikrohistorische Nachzeichnung der zwei genannten Messprojekte, welche die Grenzen des seinerzeit messtechnisch Möglichen sowohl im Kleinen als auch im Großen auszuloten versuchten. Und – so viel sei vorweggenommen – beide Projekte offenbaren im Rückblick ziemlich deutlich, wo diese Grenzen damals lagen.

Ein detaillierter Einblick in den konkreten Forschungsalltag der Potsdamer Geodäten ist in dieser Form bisher nicht wissenschaftlich durchgeführt worden. Dabei gestaltet sich die Quellenlage ausgesprochen reichhaltig. Neben den sehr informativen Jahresberichten des Direktors des Geodätischen Instituts hat sich vor allem eine umfangreiche Aktenlage als besonders ergiebig erwiesen. Die fachwissenschaftlichen Unterlagen befinden sich im Brandenburgischen Landeshauptarchiv (BLHA) Potsdam, wo der Gesamtbestand des 1990 aufgelösten Zentralinstituts für Physik der Erde und seiner Vorgänger wie das Geodätische Institut Potsdam lagert. Der administrative Schriftwechsel mit den Behörden hingegen lagert im Geheimen Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz (GStA PK) in Berlin-Dahlem.

Längenmessungen des Geodätischen Instituts

Das 1870 in Berlin gegründete Königlich-Preußische Geodätische Institut sollte einerseits die Aufgaben eines Zentralbüros der Permanenten Kommission als koordinierende Stelle der 1864 gegründeten Mitteleuropäischen Gradmessung wahrnehmen und andererseits den preußischen Beitrag für dieses europäische Vermessungsprojekt leisten. Die international durchgeführte Vermessung Mitteleuropas entstand auf Initiative von Johann Jacob Baeyer (1794-1885), um Größe und Gestalt der Erde wissenschaftlich zu erforschen. So wurden dem neuen Institut verschiedene Triangulationsaufgaben, geodätisch-astronomische Messungen zur Bestimmung der geographischen Länge und Breite sowie der Azimute verschiedener Hauptdreiecksseiten und die exakte Bestimmung der Intensität der Schwerkraft mit auf den Weg gegeben, wobei die für letzteres notwendigen Pendelmessungen wegen mangelnder Genauigkeit der vorhandenen Apparate zunächst zurückgestellt werden mussten (Lerbs 1970, S. 24ff.; Torge 1994, S. 221; Laitko 1996; Torge 2009, S. 230f).

Bis 1886 zeichnete das Geodätische Institut also auch verantwortlich für Triangulationsarbeiten im Rahmen der Europäischen Gradmessung. Mitarbeiter des Instituts beobachteten und bearbeiteten unter anderem das Märkisch-Thüringische Dreiecksnetz (1867-1877), das Hessische Dreiecksnetz (1867-1876) sowie das Rheinische Dreiecksnetz (1867-1877) und verbanden diese mit den benachbarten Dreiecksnetzen. Einer zügigen grenzübergreifenden Verbindung der einzelnen regional und national erarbeiteten Netze stand allerdings entgegen, dass jeder Staat seine eigenen Längenmaßeinheiten verwendete, deren Vergleichbarkeit nur mit viel Aufwand zu berechnen waren. Allein im Großherzogtum Baden existierten um 1800 noch 112 verschiedene Ellenmaße. Und auch Elle war nicht gleich Elle. Während sie in Sachsen etwa 56,7 Zentimeter maß, war die preußische Elle ganze 10 Zentimeter länger. Die preußische Landesvermessung und auch das Geodätische Institut arbeiteten für ihre wissenschaftlichen Messungen zunächst mit dem altfranzösischen Längenmaß Toise (Armspanne), welches 1,949 Metern entsprach. Die französischen Geodäten hingegen maßen bereits seit Beginn des 19. Jahrhunderts mit dem Meter. Ihr Projekt der Erdmessung brauchte daher, das war den Wissenschaftlern schnell bewusst, unbedingt ein einheitliches Maß. Nach Fürsprache der Geodäten beschlossen die Mitgliedsländer der Europäischen Gradmessung schließlich 1875 die Einführung des bis heute gültigen metrischen Systems in Europa. Zwölf europäische Staaten unterzeichneten im Mai 1875 die internationale Meterkonvention. Das „Pariser Urmeter“ definierte fortan die gemeinsame Maßeinheit in Europa (Torge 2009, S. 250ff.).

Ein halbes Jahr nach Unterzeichnung der Internationalen Meterkonvention verständigten sich die Mitglieder der Europäischen Gradmessung „im Interesse des gemeinsamen Werkes“ darauf, dass „für die europäische Gradmessung ein Basis-Apparat auf gemeinsame

Kosten angeschafft werden“ solle (Kühnen 1897, S. 1). Wichtig war, dass dessen Messstange mit dem neuen internationalen Meter vergleichbar sein müsse. Das Geodätische Institut bestellte daraufhin im Februar 1876 bei der renommierten Werkstatt der Gebrüder Brunner in Paris einen Basisapparat, der nach zwei Jahren Bauzeit in Berlin eintraf. Im Unterschied zu dem von Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) entwickelten Basismessapparat, dessen vier Eisen-Zink-Messstangen von je zwei Toisen Länge in witterungsgeschützten Holzkästen eingeschlossen waren, verwendete der Brunnersche Apparat eine einzige Vier-Meter-Stange aus einer Platin-Iridium-Legierung. Mit dem neuen Material wollten die Wissenschaftler vor allem überprüfen, ob die von Baeyer geäußerte Vermutung einer Änderung des Ausdehnungskoeffizienten der mittlerweile in die Jahre gekommenen Besselschen Messstangen aus Eisen und Zink bei unterschiedlichen Temperaturen stimme. Nicht weniger als die bis dahin angenommene Unveränderlichkeit des Besselschen Basisapparats, dem seit den 1840er Jahren verwendeten Hauptmessinstrument der Trigonometrischen Abteilung der preußischen Landesvermessung, stand also bei diesem Forschungsprojekt auf dem Spiel (Kühnen 1897, S. 1; Höpfner 2014, S. 4ff.).

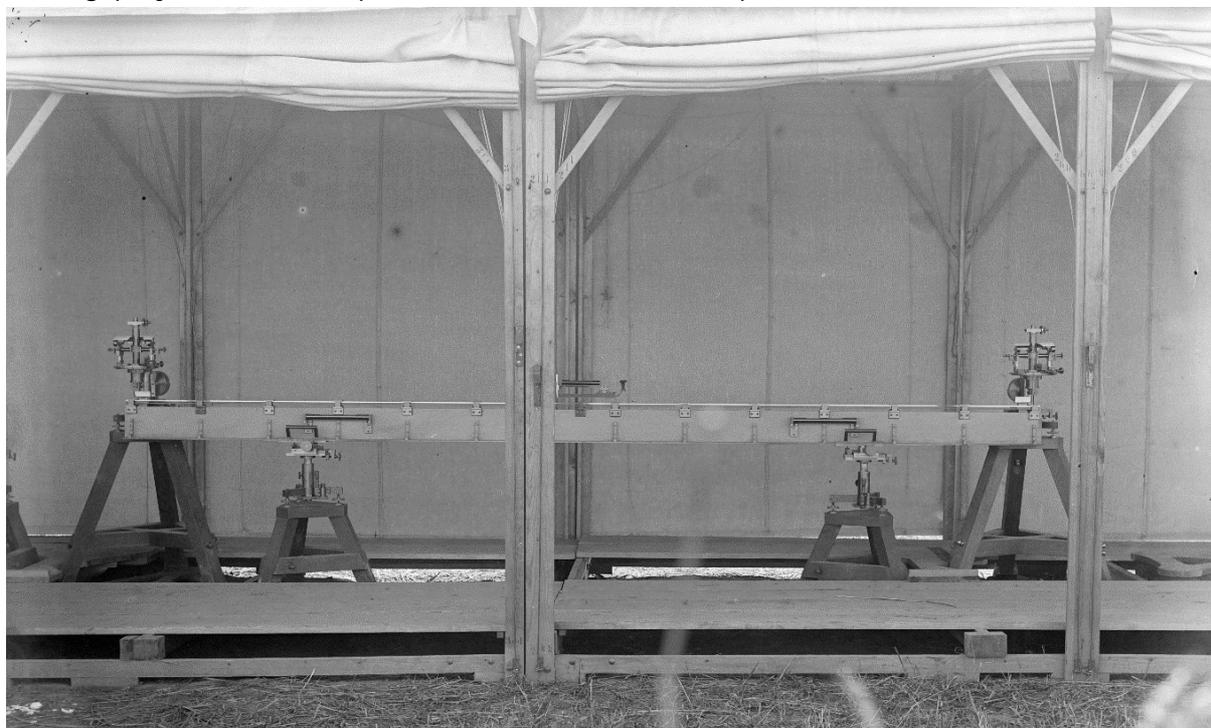


Abb. 1: Der aufgebaute Brunnersche Basisapparat unter dem Schutzzelt, 1892 (© GFZ Potsdam)

Die Wissenschaftler untersuchten im Sommer 1879 zunächst die Ablesegenauigkeit, verschiedene Teilungsfehler und Temperaturkoeffizienten, bevor mit dem neuen Basisapparat die Grundlinien bei Strehlen (Schlesien) und bei Berlin nachgemessen wurden. Nach mehr als zweiwöchigen Vorbereitungen fand die Messung in Strehlen vom 18. August bis 3. Oktober 1879 unter Leitung von drei Wissenschaftler des Geodätischen Instituts statt: Prof. Moritz Sadebeck (1809-1885), Prof. Theodor Albrecht (1843-1915) und Prof. Amandus Fischer (1836-1894). Unterstützt wurden sie von fünf Institutsassistenten, etlichen Lohnarbeitern, einem Oberfeuerwerker und 15 Soldaten aus dort stationierten Regimentern. Im mittleren Ergebnis bestimmten sie die Länge der Strehleiner Grundlinie mit 2.762,58515 Meter. Ihr Ergebnis war erstaunlich, denn es wich auf einer Entfernung von fast drei Kilometern nur 0,275 Zentimeter vom Ergebnis der ersten Grundlinienmessung aus dem Jahr 1854 mit dem Besselschen Basisapparat ab, die im Mittel eine Länge von 2.762,5824 Meter

erzielt hatte (Kühnen 1897, S. 79-83). Ähnlich gering fiel die Differenz bei der Nachmessung der Berliner Grundlinie 1880 aus, welche Johann Jacob Baeyer selbst 1846 mit dem Besselschen Apparat vermessen hatte (Kühnen, 1897, S. 84-90). Mit diesen Ergebnissen konnte die Frage nach der Veränderlichkeit des Ausdehnungskoeffizienten der Stangen des Besselschen Apparates zunächst nicht beantwortet werden.

In den folgenden Jahren lagerte der Brunnersche Basisapparat mangels eigener Räumlichkeiten des Geodätischen Instituts in einem Privathaus in Berlin-Steglitz verteilt auf einige Zimmer sowie in einem Schuppen (Helmert 1887, S. 6). Nachdem Anfang der 1880er Jahre die Räume des Internationalen Büros für Maß und Gewicht (Bureau International des Poids et Mesures), der Pavillon de Breteuil in Paris, mit neuen Laborräumen und neuen internationalen Prototypen von Meter und Kilogramm ausgestattet wurde, beschloss die Permanente Kommission der Europäischen Gradmessung, alle die Gradmessungen betreffenden Messinstrumente zwecks Eichung (Etalonnierung) nach Paris zu übersenden. In Berlin hatte sich unterdessen nach dem Tod von Johann Jacob Baeyer, der fortdauernd mit der preußischen Landesaufnahme über deren Qualität der Höhen- und Längenmessungen im Streit lag, die Situation grundlegend geändert.

Im Zuge der Berufung von Friedrich Robert Helmert (1843-1917) zum Direktor des Geodätischen Instituts hatten sich die Verantwortlichen um Wilhelm Foerster (1832-1921) und Friedrich Althoff (1839-1908) mit dem designierten Nachfolger Baeyers sowie dem Chef der Trigonometrischen Abteilung der Preußischen Landesaufnahme, Oskar Schreiber (1829-1905), darauf verständigt, dass die praktischen Vermessungstätigkeiten fortan allein die Preußische Landesaufnahme erledige, während das Geodätische Institut hauptsächlich fachwissenschaftlich beratend tätig sein solle (Tiemann 1991, S. 412f.; Beitrag Brall/Leicht in diesem Band). Bei seinen Vermessungen habe sich das Geodätische Institut der Ergebnisse von den „Grundlinienmessungen, Triangulierungen und Nivellierungen der Landesaufnahme zu bedienen“, zitierte Helmert in seinem ersten Jahresbericht wortwörtlich die offizielle Vereinbarung zwischen Geodätischem Institut und Landesaufnahme (Helmert 1887, S. 4; BLHA 1, 1887). Nichtsdestotrotz wurde der institutseigene Basisapparat zwecks Eichung, wie von der Permanenten Kommission beschlossen, im Herbst 1886 nach Paris übersandt, wo er für mehr als fünf Jahre entsprechend untersucht wurde, um das Verhältnis des Messtabes und sein temperaturabhängiges Verhalten zur internationalen metrischen Einheit exakt festzustellen (Kühnen 1897, S. 3). Eine erste Testmessung des neu geeichten und nach Potsdam zurückgeschickten Apparates fand schließlich im Mai 1892 unter Helmerts persönlicher Leitung auf der neu eingerichteten Messbahn des Geodätischen Instituts statt, welches erst einen Monat zuvor seine neuen Forschungsgebäude auf dem Potsdamer Telegrafenberg bezogen hatte (Helmert 1893, S. 13; Leicht 2017, S. 55f.).

Die Doppelmessung der Bonner Basislinie 1892

Die möglichst exakte Messung einer Grundlinie (Basislinie) war für die Bestimmung von großen Distanzen enorm wichtig. Bei der Triangulation wurde ein Netz von zusammenhängenden Dreiecken nur durch Messung der Dreieckswinkel erstellt, die sich im Gelände mit einem Winkelmessinstrument, zum Beispiel einem Theodolit, wesentlich einfacher und genauer messen lassen als Strecken, besonders wenn letztere sehr lang sind. Mit dem Fernrohr wurden zwei verschiedene Zielmarken im Gelände angesteuert. Auf dem Ablesekreis des Instruments wurde der Winkel zwischen beiden abgelesen. So konnte ein großes Ge-

biet in ungleichmäßige Dreiecke zerlegt werden, deren Winkel alle messbar sind. Die Verbindungen zwischen den Zielpunkten bildeten die Dreiecksseiten. Zur Berechnung deren Länge benötigten die Geodäten eine möglichst exakt ausgemessene Grundlinie. Sie stellt als eine der Dreiecksseiten eines Basisvergrößerungsnetzes den Ausgangspunkt der Triangulation dar. Unter Verwendung der Trigonometrie konnten daraus die Längen aller anderen Dreiecksseiten des Netzes berechnet werden. Für die Bestimmung einer großen Entfernung brauchte somit nur eine kurze überschaubare Strecke gemessen werden. Diese musste allerdings – und das war das Ansinnen des Geodätischen Instituts – möglichst exakt erfolgen, da selbst kleinste Messfehler durch die Vergrößerung der Basislinie enorme Auswirkungen haben konnten. Deswegen wurde auf die Verfeinerung der Messmethode, die Optimierung der genutzten Apparate und den Ausschluss von möglichst allen Fehlerquellen äußerster Wert gelegt.

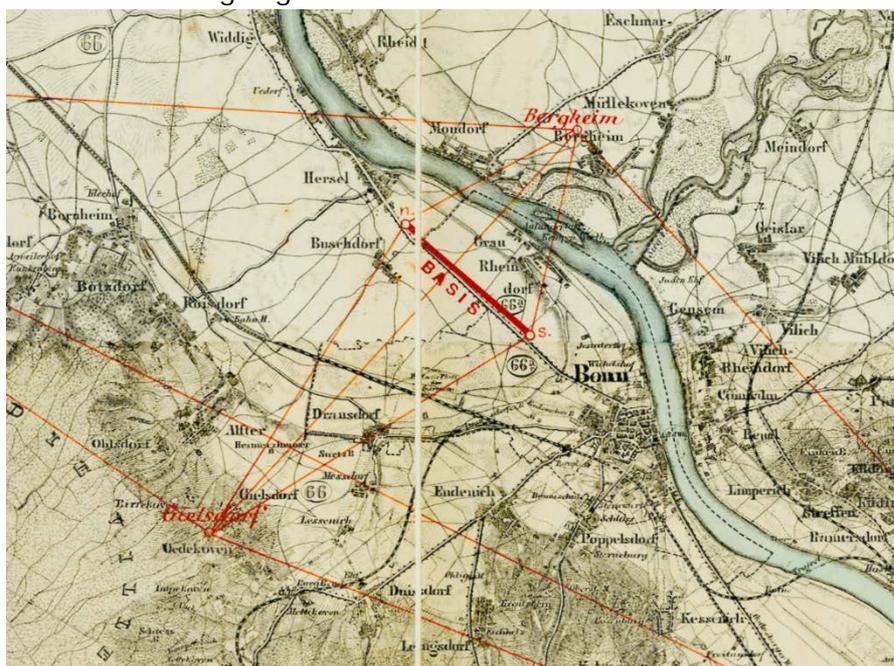


Abb. 2: Die Bonner Basislinie mit Vergrößerungsnetz zwischen Bergheim und Giesdorf (© Geobasis.NRW)

Nach der klar geregelten Aufgabenteilung zwischen Preußischer Landesaufnahme und Geodätischem Institut überrascht, dass die Potsdamer Wissenschaftler im Jahr 1892 dennoch eine wissenschaftliche Basismessung durchführten, und zwar mit nicht unerheblichem Aufwand. Als Hauptziel erklärten sie daher auch nicht die eigentliche Bestimmung der Länge der Grundlinie oder die ursprünglich von Baeyer aufgeworfene Vermutung nach den veränderlichen Ausdehnungskoeffizienten der Stangen des Besselschen Apparates, sondern sie interessierte nunmehr nicht weniger als die „eingehende Beantwortung der Frage nach den Grenzen der erreichbaren Genauigkeit“ (Kühnen 1897, S. 4, Hervorhebung im Original). Denn der Wert eines Instruments liege nicht in erster Linie darin, dass seine Messfehler klein, sondern dass sie exakt berechenbar seien. Und da die Preußische Landesaufnahme aus verschiedenen Gründen veranlasst war, die Bonner Grundlinie im Sommer 1892 mit dem Besselschen Basisapparat neu zu vermessen, verständigte sich das Geodätische Institut mit der Landesaufnahme darauf, direkt im Anschluss an deren Arbeiten eine Messung der Grundlinie mit dem institutseigenen Basisapparat der Gebrüder Brunner durchzuführen. Als offizieller Zweck der Kooperation wurde denn auch der direkte Vergleich beider Apparate beim unmittelbar aufeinander folgenden Messeinsatz im Felde angegeben.

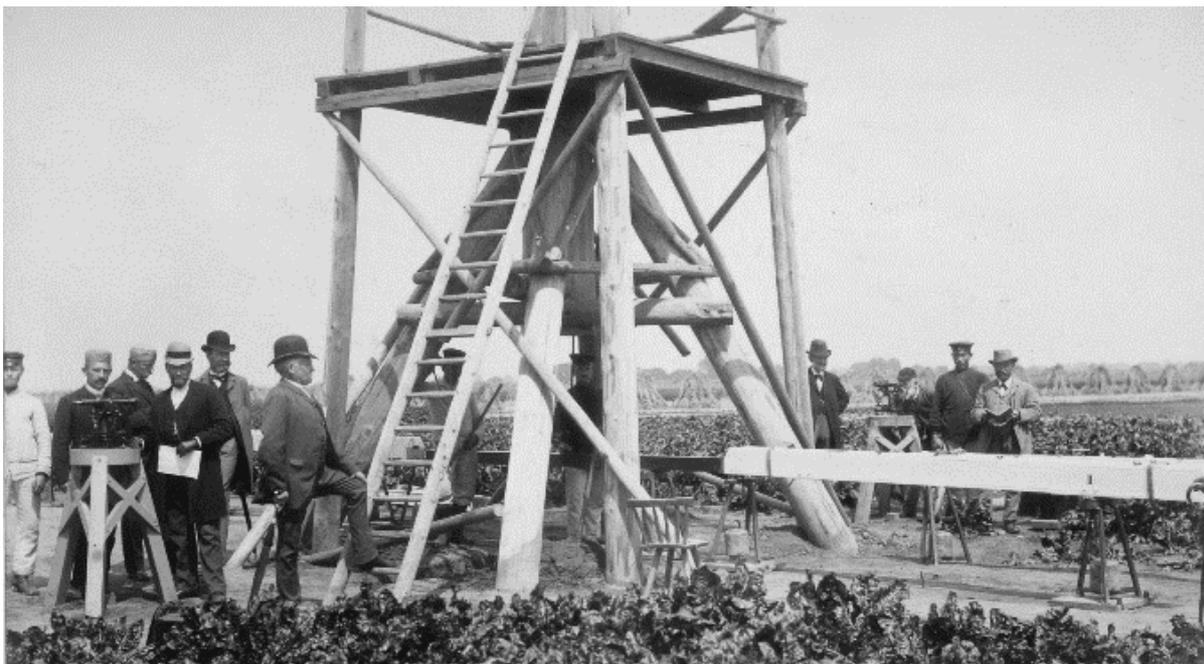


Abb. 3a bis c: Die Messung der Bonner Basislinie durch die Trigonometrische Abteilung der Preussischen Landesvermessung mit dem Besselschen Basisapparat, 1892 (© Geobasis.NRW)

Solch ein Vergleich verschiedener Basismessapparate im Felde hatte bis dahin „nur in ganz wenigen Fällen“ stattgefunden. Die Wissenschaftler erhofften sich dadurch neue Erkenntnisse über die Beeinflussung der Messungen durch systematische Fehlerquellen bei Grundlinienmessungen im Feld. Sie hatten die Vermutung, dass eine bloße Eichung der Messstäbe in Labor durch Vergleiche mit Normalmassstäben nicht ausreiche, um die maximal mögliche Genauigkeit zu erzielen (Helmert 1893, S. 5).



Abb. 3d: Gruppenfoto der Mitarbeiter der Trigonometrischen Abteilung der Preußischen Landesaufnahme mit den Wissenschaftlern des Geodätischen Instituts mit Friedrich Robert Helmert (5. v. l.) und Oskar Schreiber (11. v. r), 1892 (© Geobasis.NRW)

Nachdem die Trigonometrische Abteilung der Preußischen Landesaufnahme vom 19. bis 31. Juli 1892 die 2.513 Meter lange und in 15 Teilstrecken mit 16 Messpunkten untergliederte Bonner Basis „zweimal bei steigender und zweimal bei fallender Temperatur in jedesmal umgekehrter Richtung gemessen hatte“ (Kühnen 1897, S. 5), begannen die Potsdamer Wissenschaftler am 1. August 1892 mit den vorbereitenden Arbeiten. Helmert war schon einige Tage früher angereist und lobte die „außerordentliche Schnelligkeit bei großer Genauigkeit“ der durchgeführten „hervorragenden Arbeiten“ der Landesvermessung (Helmert 1893, S. 14). Die Landesaufnahme hatte für ihre Messungen bereits die gesamte Strecke durch Wald und Feld von Pflanzen befreit und gewalzt. Detailliert wurden die für die ansässigen Bauern durch die Planierung eines Teils ihrer Felder kurz vor der Ernte entstandenen finanziellen Verluste aufgerechnet und ihnen am Ende eine Entschädigung von insgesamt 1.381,25 Mark ausbezahlt, deren Erhalt die Landwirte natürlich ordnungsgemäß quittieren mussten (BLHA 2, 1892).

Neben Helmert, der allerdings nur der ersten Hälfte der Messungen persönlich beiwohnte, waren vom Geodätischen Institut fast alle Sektionsmitarbeiter dabei: Emil Borraß (1856-1930), Max Schnauder (1860-1939), Dr. Friedrich Kühnen (1858-1940), Dr. Alfred Westphal (1850-1924), Ludwig Haasemann (1857–1941), Dr. Anton Börsch (1854-1920), Dr. Richard Schumann (1864-1945), Dr. Louis Krüger (1857-1923) und Prof. Amandus Fischer (1836-1894), der die wissenschaftliche Leitung innehatte. Fischer hatte als einziger bereits

an den Neuvermessungen der Grundlinien in Strehlen und Berlin 1879/80 mit dem Brunnerschen Basisapparat mitgewirkt. Unterstützung erhielten die Potsdamer Wissenschaftler von 40 Militärangehörigen und ihren Vorgesetzten aus zwei in Bonn stationierten Regimentern und Bataillonen. Sie halfen vornehmlich beim Weitertransport von Apparaten, Zelten und dem übrigen Material (BLHA 3, 1892). Dazu gehörte neben der eigentlichen 74 Kilogramm schweren Messstange die Stangenlager, diverse Ablesemikroskope mit deren Befestigungen, insgesamt 14 große und kleine Böcke mit zusammen 120 großen und kleinen eisernen Unterlegplatten für die Böcke, wobei eine große Platte stattliche 83 Kilogramm wog. Da die Messstange über keinen eigenen Witterungsschutz verfügte, ergänzten zudem sieben Schutzzelte mitsamt Holzkonstruktion, ein Theodolit und Thermometer die Ausrüstung (Kühnen 1897, S. 8f.).



Abb. 4: Aufgebaute Messstecke mit dem Brunnerschen Basisapparat bei der Neuvermessung der Bonner Basis durch die Wissenschaftler des Geodätischen Institut Potsdam, 1892
(© GFZ Potsdam)

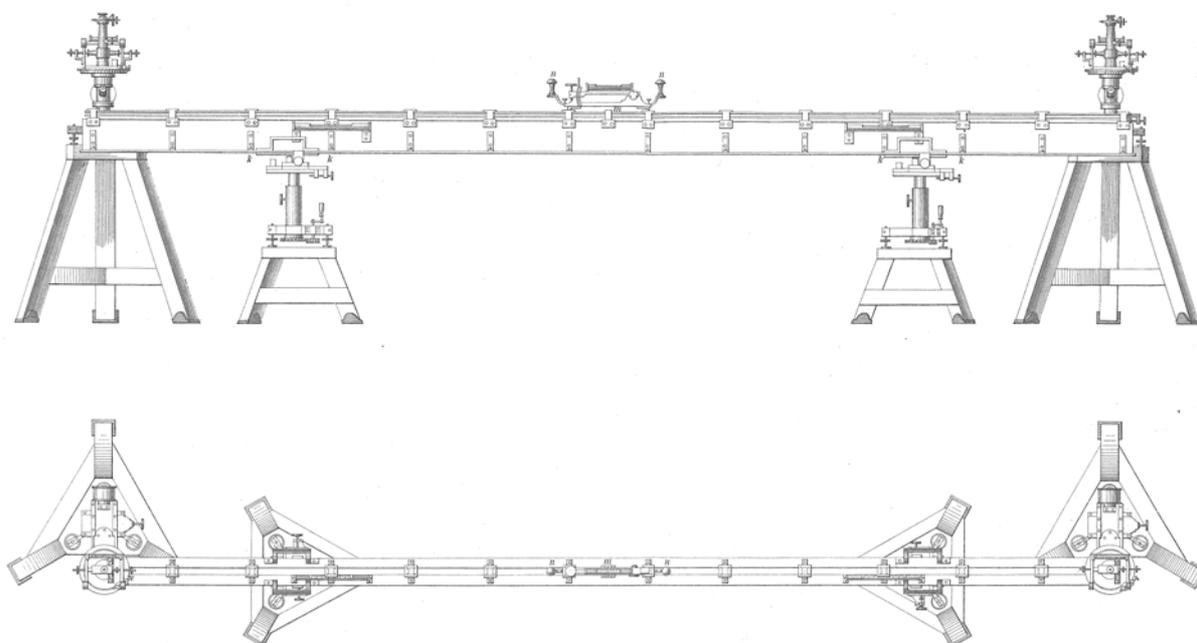


Abb. 5a: Schematische Zeichnung des Brunnerschen Basisapparats, 1897 (aus: F. Kühnen, Die Neuvermessung der Grundlinien bei Strehlen, Berlin und Bonn, ausgeführt durch das Geodätische Institut, Berlin 1897, Tafel 1)

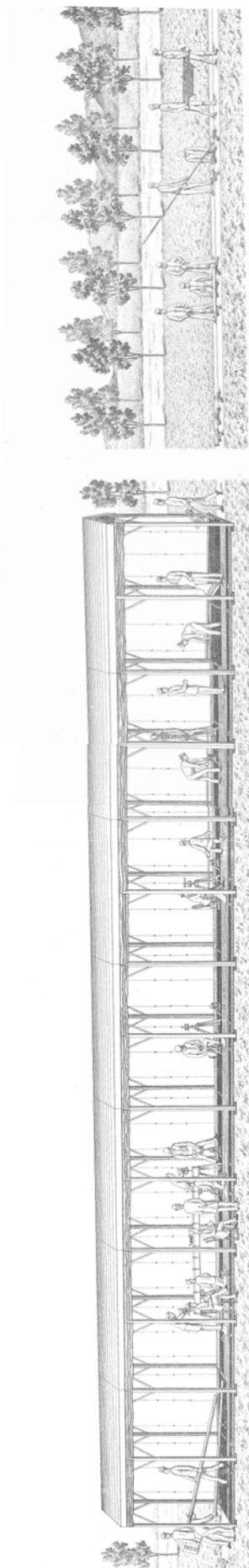


Abb. 5b: Zeichnung der aufgebauten Messstrecke des Brunnerschen Basisapparats, 1897 (aus: F. Kühnen, *Die Neumessung der Grundlinien bei Strehlen, Berlin und Bonn, ausgeführt durch das Geodätische Institut, Berlin 1897, Tafel 4*)

Der Brunnersche Apparat folgte der Idee, dass fortschreitend der Abstand zwischen zwei fest auf Böcken und möglichst isoliert vom Umgebungsgelände aufgestellten Mikroskopen mittels einer bimetallischen Messstange bestimmt wird. Der Messapparat wird aus einer Platin-Iridium-Stange und einer Messingstange gebildet, die jeweils etwas länger als vier Meter sind und auf mehreren justierbaren Rollen im Abstand von 7,1 Millimeter übereinander auf einem umgekehrt liegenden T-Träger aus Schmiedeeisen lagern. Die Stangen sind durch ein Messingstück in der Mitte fest miteinander verbunden, so dass sie sich in beide Richtungen auf Rollen gelagert frei ausdehnen können. An den Enden wird mit den Mikroskopen der Längenunterschied der beiden im Querschnitt je 21 x 4,5 Millimeter großen Stangen abgelesen, aus dem ihre Temperatur und die jeweilige Länge exakt ermittelt werden kann (Kühnen 1897, S. 9).

Die Messung der Bonner Grundlinie mit dem Brunnerschen Apparat dauerte vom 4. bis 24. August 1892 und damit fast doppelt so lang wie die Messung der Trigonometrischen Abteilung der Preußischen Landesaufnahme mit dem Besselschen Basisapparat. Vorteilhaft war, dass die gesamte Strecke auf einer Breite von neun Metern von der Landesaufnahme bereits messfertig präpariert war. Auch verlief sie relativ eben, die Höhendifferenz zwischen Anfangs- und Endpunkt betrug nur etwa zwei Meter (Kühnen 1897, S. 6f.). Die Messung erfolgte auf Anweisung Helmerts in zwei Hälften. Zwischen 4. und 12. August erfolgte die Messung vom mittleren Hauptpunkt Nr. IX bis zum südlichen Endpunkt Nr. XVI und zurück. Vom 13. bis 24. August wurde die Nordhälfte der Basis bis Endpunkt Nr. I und wieder zurück zum mittleren Hauptpunkt Nr. IX vermessen (Helmert 1893, S. 14; Kühnen 1897, S. 11). Dabei kümmerten sich die Wissenschaftler abwechselnd um die Aufstellung und Einfluchtung der Stative und der Mikroskopträger, die Ablesung der Mikroskope und des Stangenniveaus, die Protokollführung, die Lage der Stative, etc. Zwischendurch wurden die Instrumente mehrmals geprüft, gereinigt und frisch geölt.

Wichtig war die exakte Überprüfung der Temperatur, denn nach wie vor stand ja die Vermutung im Raum, dass der Temperatúrausdehnungskoeffizient der Besselschen Stangen nicht konstant sei. Für die Südhälfte der Messung übernahm daher Helmert selbst die Ablesung sowohl des Quecksilberthermometers für die Umgebungstemperatur als auch des Metallthermometers für die Materialtemperatur. Die Temperaturmessung des nördlichen Abschnitts hatte Krüger durchgeführt, nachdem Helmert schon am 15. August abgereist war (BLHA 4, 1893). Bis dahin hatte der Institutsdirektor auch den Fortgang der Arbeiten genauestens mit dem Temperaturgang abgestimmt (Helmert 1893, S. 14). Die Witterungsverhältnisse sollten jedoch sehr unterschiedlich ausfallen. Bei der Messung der Südhälfte zeigte sich das Wetter meist trübe, schwach regnerisch bei einer mittleren Tagestemperatur von etwa 20 Grad, während später bei der Messung der Nordhälfte ein Hochdruckgebiet herrschte mit einer mittleren Tagestemperatur von 29 Grad. Am Nordpunkt musste sogar ein Ruhetag wegen Hitze eingelegt werden, das Thermometer war auf 38,6 Grad geklettert (Kühnen 1897, S. 11).

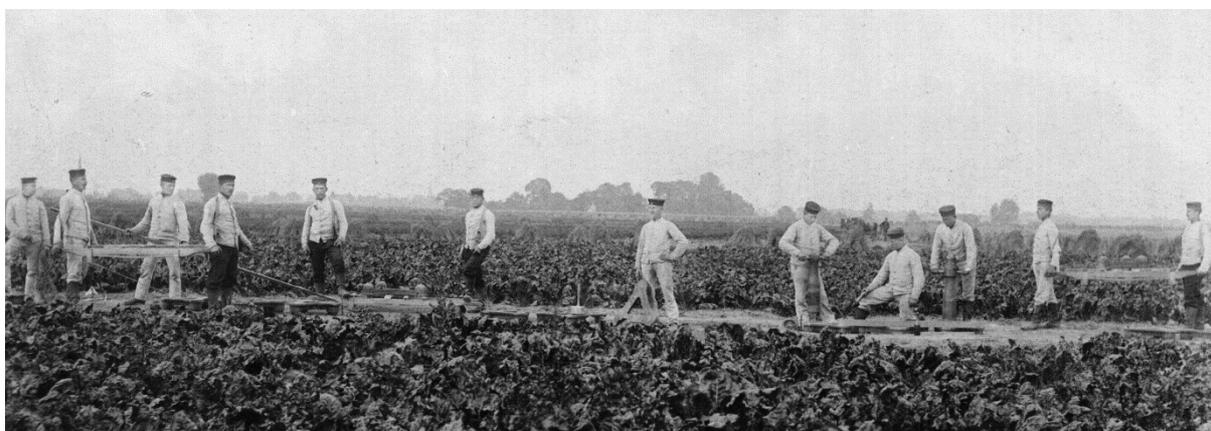


Abb. 6: Weitertransport der Eisenplatten des Brunnerschen Basisapparats, 1892 (© Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Rep. 465 ZIPE Fotos, Nr. 3.1/69)

Die eigentliche Messung gestaltete sich als sehr aufwändige wissenschaftliche Präzisionsarbeit. Eine Stangenlage erforderte im Minimum zwei Minuten Zeit für die Ablesung. Dennoch wurden pro Tag nach mehr als sieben Stunden Arbeit nur zwei von 15 Teilstrecken geschafft. Denn die meiste Zeit benötigte der Weitertransport des Materials. Das militärische Hilfspersonal demontierte nach erfolgter Vermessung die Zelte, trug sie und mit ihnen die Dielen der Zeltböden, die Trägerplatten für die Böcke und die Stangen sowie die Stangenlager weiter, um diese am Ende der Messstrecke wieder aufzubauen und einzurichten (Helmert 1893, S. 16; Kühnen 1897, S. 16). Bevor die Messung beginnen konnte, mussten die Böcke im Lot ausgerichtet und eingefluchtet werden. Die Messstange wurde stets von den gleichen vier Pionieren weiter getragen, die auch bei der Ausrichtung der Stangenlage mittels Stellschrauben und Lotrohr den Beobachtern zur Hand gingen. Erst wenn alles eingerichtet war, konnten die Beobachter an den Mikroskopen anhand der Zehntelmillimeter-einteilung an den Enden der Messstangen die eigentliche Messung vornehmen. Entscheidend war, dass an den Böcken mit den Mikroskopen nur die Mikrometerschraube berührt wurde, alles andere musste unangetastet bleiben. Die Sorgfalt der Präzisionsmessung wird beispielhaft daran deutlich, dass die Beobachter von hinten an die Mikroskope herantraten, damit die Strahlung ihrer Körperwärme möglichst von der Stange ferngehalten wurde. Nicht dass die Körperwärme die Ausdehnung der Stange am Endstück beeinflusste, vom Metallthermometer aber nicht hätte erfasst werden können (Kühnen 1897, S. 19).



Abb. 7: Mittagspause während der Vermessung der Bonner Basis, 1892 (© Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Rep. 465 ZIPE Fotos, Nr. 3.1/67)

Die insgesamt 21 Tage dauernde arbeitsintensive Feldmessung hatte für die Mitarbeiter des Geodätischen Instituts auch zur Folge, dass in den Wintermonaten die Dienststunden von morgens 9 Uhr bis nachmittags 15 Uhr begrenzt wurden, wohl auch um die angesammelten erheblichen Überstunden abbauen zu können (BLHA 5, 1892). In den Wintermonaten erledigten sie auch die umfangreichen Berechnungen der Ergebnisse, ergänzt um Fehlerberechnungen wie die Durchbiegung der Stange, die Neigung der Stange im Gelände, der Temperaturkonstanten und Ausdehnungskoeffizienten aller an der eigentlichen Messung beteiligten Metallteile, der inneren und äußeren Fehler der auf den Stäben eingravierten Maßskalen, der Blasenwanderung in den Libellen etc. Die Berechnungen nehmen denn auch in der von Friedrich Kühnen zusammengestellten Publikation den meisten Platz ein (Kühnen 1897, S. 36-73). Nach der Messung im Felde wurde der Basisapparat zudem erneut nach Paris gesandt und nochmals bei hoher und bei niedriger Temperatur mit dem Normalmaß verglichen (Kühnen 1897, S. 3). Auch diese Ergebnisse fanden Berücksichtigung. Im Folgenden werden Tätigkeiten in und Ergebnisse aus den einzelnen Arbeitsfeldern der Öffentlichkeitsarbeit kurz beschrieben.

Am Ende ergaben die Messungen des Geodätischen Instituts im Mittel eine Länge der Bonner Basis von 2.512,96955 Meter. Die Trigonometrische Abteilung der preußischen Landesaufnahme erzielte eine Länge von 2.512,96124 Meter, beide Vermessungen wichen also nur 8,71 Millimeter voneinander ab. Eine mögliche Ursache für diese Differenz erblickten die Potsdamer Wissenschaftler bei der Eichung der Apparate. Zusätzlich vermuteten sie als weitere Ursache die Bodendurchbiegung bei den Messungen, welche bei der Landesaufnahme gar nicht erfassbar sei und bei der Messung des Geodätischen Instituts nur unzureichend festgestellt werden könne. Abschließend kommen die Wissenschaftler aber zu dem Ergebnis, dass die Messungen „zwar die systematische Differenz von 3,3 Millimeter auf 1 Kilometer“ aufweisen, „im Übrigen jedoch in ganz hervorragender Weise übereinstimmen“ (Kühnen 1897, S. 78).

Mit diesem Ergebnis, so schlussfolgerten die Autoren des publizierten Abschlussberichts, zeigte sich, dass der institutseigene Basisapparat aus dem Hause Brunner keine größere Genauigkeit geliefert hatte als der Besselsche Basisapparat, der noch bis 1914 von der Trigonometrischen Abteilung der preußischen Landesvermessung verwendet wurde. Für die von Baeyer geäußerte Vermutung einer möglichen Veränderlichkeit der Messstangen des Besselapparates und daraus resultierenden Messungenauigkeiten konnten zunächst keine signifikanten Hinweise gefunden werden.

Liquitation

Über Reisekosten und Vergütung für Aufgenommen, zur Kaufreise von Leipzig nach Bonn im Jahr vom 27 Juli bis 15 August 1893 von dem Untersuchungs- und geograph. Institut.

Zeit der Ausführung		Zahl der Tage.	Reisetour und Angabe der dienstlichen Verrichtungen.	Kilometer		Zu- und Abgänge bei der Benutzung der Eisenbahnen und Dampfschiffe.
Monat.	Tag			per Eisenbahn resp. Dampfschiff.	nach dem Landwege.	
1892.	Juli	27	-	549.70	-	1.
			von Potsdam über Hildesheim, Magdeburg nach Köln u/ Rhein.	33.50	-	1.
			von Köln u/ Rhein nach Bonn	584.-	-	
			mit zurück, abends	584.	-	2.
August	15	-	von Bonn nach dem Hauptplatz zur Kaufreise von Leipzig in der Zeit vom 27 Juli - 15 August 1893; für mit für je 9 Kilom. der Landweg	-	108.	
		22	Für 12 Aufnahmen 12 x 9 = 22 Tage Aufenthalt in Bonn; für bei zufließen der 27 Juli mit 15. August der Entfernung von Bonn			
		22		1168	108	4.
			<i>Berechnung</i>			
		1168	Kilometer Eisenbahnweg = 13 S	151.4	84.2	
		108	" " Landweg = 60 S	64	80	
		4	Mahl Kosten = 3 M	12	-	
		22	Tage Vergütung = 12 M	264	-	
			<i>Sind zusammen</i>	492	164.2	
			Potsdam den 24 Februar 1893			
			<i>Jubert</i>			
			Die Briefgebühren sind der am 27 Juli nach Leipzig mit 15 August 1893 von dem Untersuchungs- und geograph. Institut.			
			Potsdam, den 24 Februar 1893			
			<i>Jubert</i>			
			Die Briefgebühren sind der am 27 Juli nach Leipzig mit 15 August 1893 von dem Untersuchungs- und geograph. Institut.			
			Potsdam, den 24 Februar 1893			
			<i>Jubert</i>			

Aus den Aufnahmen, sowie für die und dem Kaufpreis, und die Aufstellung waren, die Aufnahmen sind in calculo gemacht und richtig geprüft
Kredelsson
Königsberg
Geodätisches Institut

Abb. 8: Reisekostenabrechnung von Prof. Helmert für die Dienstreise nach Bonn zur Basismessung, 1893 (©Brandenburgisches Landeshauptarchiv Rep 465 ZIPE, A 269)

Man könne daher die Hauptaufgabe für den Brunnerschen Apparat in Zukunft in der „Übertragung der Maßeinheit auf das Feld zur Etalonierung von anderen Messapparaten“ bezeichnen, so das endgültige Fazit von Friedrich Kühnen aus dem Jahr 1897 (Kühnen 1897, S. 4). Die praktischen Längenmessungen hatte das Geodätische Institut ja der preußischen Landesaufnahme überlassen müssen, so dass der Apparat darin keine Verwendung finden konnte.



Abb. 9: Feinjustierung eines Ablesemikroskops des Brunnerschen Basisapparats, 1924 (© GFZ Potsdam)



Abb. 10: Basismessung auf der Messbahn des Geodätischen Instituts mit dem Brunnerschen Basisapparat, 1924 (© GFZ Potsdam)

Der Brunnersche Basisapparat kam in der Folgezeit auch bei keiner Grundlinienmessung mehr zum Einsatz. Vielmehr experimentierten die Wissenschaftler auf dem Telegrafenberg bereits um die Jahrhundertwende mit den neuen Methoden der Basismessungen mithilfe von Drähten, die in viel kürzerer Zeit eine hervorragende Genauigkeit erzielen konnten. Lediglich auf der 240-Meter-Messbahn diente der Brunnerapparat mit qualitativ unterschiedlichen Ergebnissen als Vergleichsmaß für die neuen Invardraht-Messungen, mit welchem das Geodätische Institut Potsdam schließlich die Grundlinien bei Schubin (1904) und Berlin (1908) nachgemessen hatte (BLHA 6, 1925; Helmert 1904, S. 6; Helmert 1909a, S. 7). Die Vergleichsergebnisse des Brunnerschen Apparates auf der Messbahn fielen aber teilweise so unterschiedlich aus, dass der Geodät Gustav Förster (1873-1932) Anfang der 1920er Jahre noch einmal das Material der Stangen des Besselschen und Brunnerschen Basisapparates genauestens überprüfte mit dem Ergebnis, dass sich das Material beider Stangenapparate bei Temperaturänderungen doch nicht konstant verhalte (Kohlschütter 1925, S. 17; Förster 1930), wie es Baeyer zumindest für den Besselschen Apparat mit seinen Eisen-Zink-Stangen vermutet hatte. Doch da auch die Messinglegierung der Bimetallstange des Brunnerapparates Zink enthielt, reagiere diese gleichermaßen wie die Zink-Stange des Besselapparates.

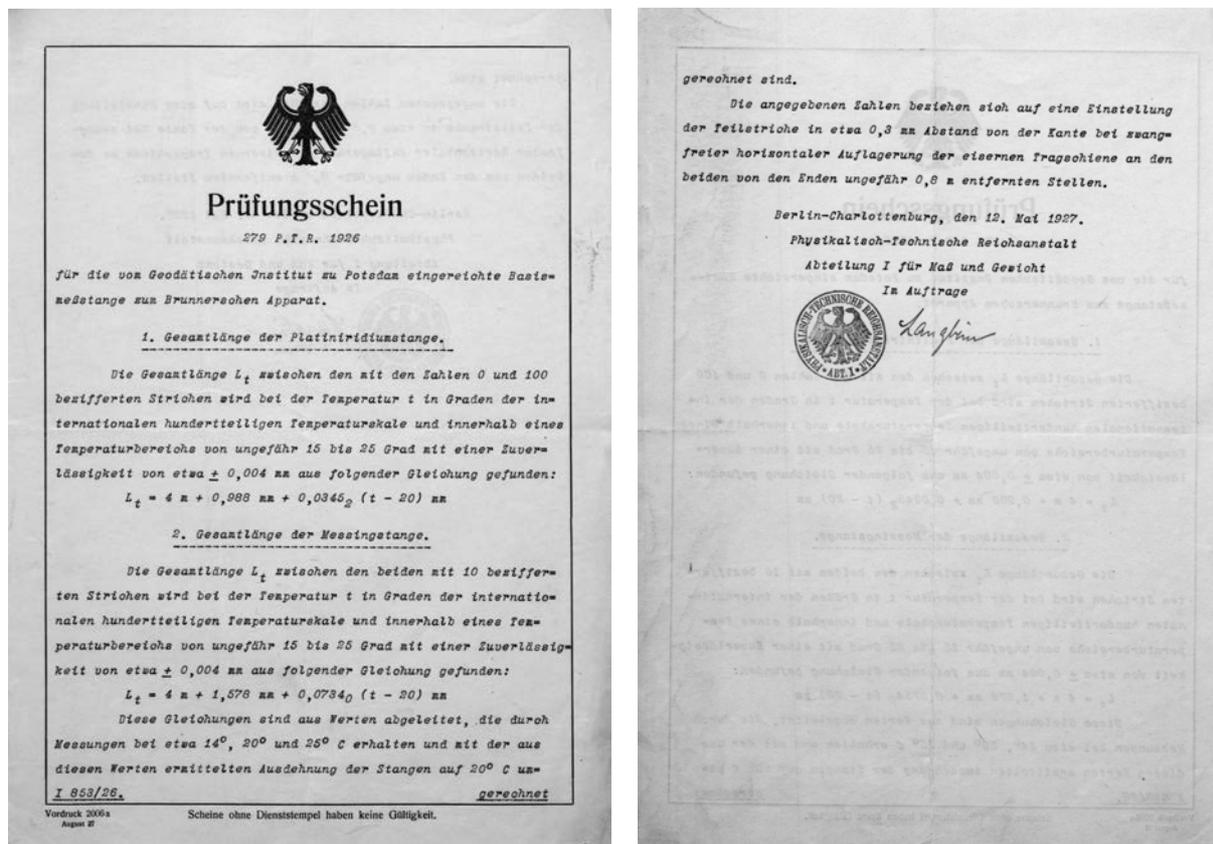


Abb. 11: Prüfschein der Messstange des Brunnerschen Basisapparats, ausgestellt von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt 1926 (©Brandenburgisches Landeshauptarchiv Rep 465 ZIPE, A 71)

Nach diesem Ergebnis gab es in den folgenden Jahren für den Brunnerschen Apparat keine Verwendung mehr. Die originale Messstange aus dem wertvollen Platin-Iridium-Material überlebte Aussagen ehemaliger Mitarbeiter des Instituts zufolge den Zugriff der NS-Wirtschaft sowie den Zweiten Weltkrieg im Hauptgebäude des Geodätischen Instituts auf dem Telegrafenberg, und zwar versteckt im hohlen Zwischenraum zwischen Pendelsaal und dem übrigen Gebäude. Nach 1945 zufällig wiederentdeckt, wurde die Stange wohl in den 1950er

Jahren abtransportiert und vermutlich von der Berliner Münze zwecks Materialgewinnung eingeschmolzen.

Die Transatlantische Längenmessung 1912/14

Vielleicht noch größer als bei dem eben beschriebenen Verfahren der exakten Messung einer kurzen Strecke mittels Basisapparat war die Herausforderung, lange Distanzen in einem Gebiet zu bestimmen, das man nicht mit einem Dreiecksnetz überziehen konnte und so mittels Basismessung die Distanz errechnen konnte. Da benötigte man andere Methoden, zum Beispiel bei der Vermessung über Ozeane hinweg. Seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert wurden solche Längenmessungen mit dem elektrischen Telegraph durchgeführt. An den beiden Orten, deren Entfernung ermittelt werden sollte, bestimmte man durch Beobachtung der gleichen Sterne die wahre Ortszeit (Sternzeit) und regelte damit den Stand der Stationsuhren. Durch Vergleichen der beiden Uhren erhielt man die Differenz der beiden Ortszeiten und damit den Längenunterschied beider Orte mit hoher Genauigkeit. Das geschieht am besten mit der telegraphischen Übermittlung der Zeitangabe von einem Ort zum anderen in möglichst kurzen Zeichen (Zeitzeichen). Eine Zeitdifferenz zwischen beiden Uhren von etwa vier Minuten entspricht so einem Längengrad, welcher beide Orte voneinander trennt. Mit einem Telegraph lassen sich demnach zwei an entfernten Orten aufgestellte Uhren in ihren Zeitangaben mit fast derselben Genauigkeit miteinander vergleichen, wie wenn sie direkt nebeneinander stünden (Sommer 1866). Dieses Verfahren wird im Folgenden bedeutsam werden. Der Institutsmitarbeiter Theodor Albrecht (1843-1915) hatte seine Doktorarbeit über solche telegrafischen Längenbestimmungen verfasst und seit Ende der 1860er Jahren diese wiederholt durchgeführt und in ihrer Genauigkeit stets verbessert.

Am Dreikönigstag im Januar 1912 traf sich im Senckenberg-Museum Deutschlands Geologische Vereinigung zu ihrer alljährlichen Hauptversammlung. Mit dabei war auch der Meteorologe und Polarforscher Alfred Wegener (1880-1930). Der junge Wissenschaftler trug bei diesem Treffen erstmals seine Theorie von der Horizontalverschiebung der Kontinente öffentlich vor.



Abb. 12: Beobachtungsstation Ubachsberg (Niederlande) für geographische Längenbestimmung Ubachsberg-Göttingen, vorn rechts der wissenschaftliche Leiter Theodor Albrecht, 1893 (© GFZ Potsdam)



Abb. 13: Blick in das Telegraphenzimmer der Beobachtungshütte in Ubachsberg. Die ermittelten Zeitbestimmungen wurden mittels Telegraph in Echtzeit mit den anderen Beobachtungsstationen verglichen, 1893 (© GFZ Potsdam)

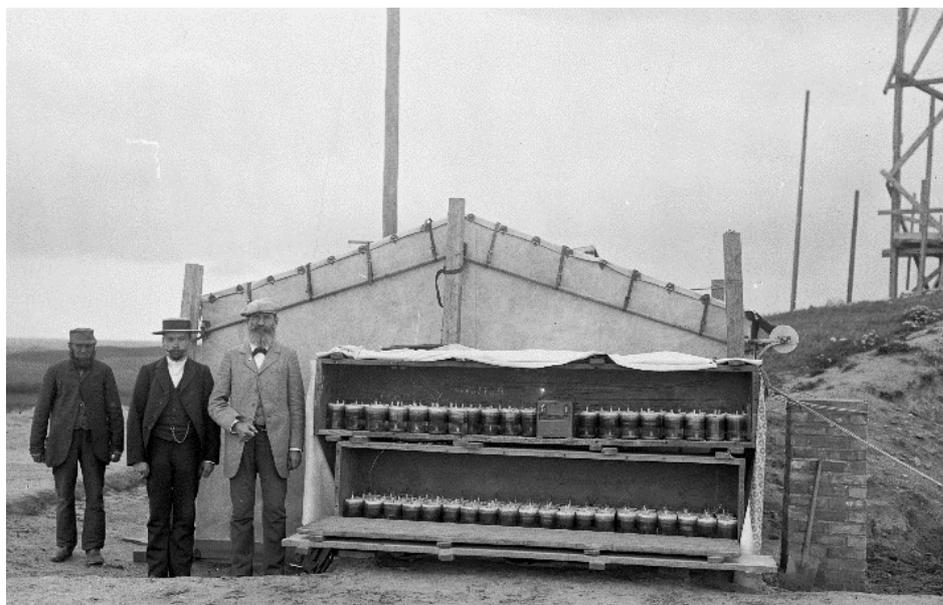


Abb. 14: Die Batterien zur Betreibung des elektrischen Telegraphs, der zur Bestimmung der Längendifferenzen Knivsberg - Kopenhagen und Knivsberg - Kiel verwendet wurde. Vorn die Wissenschaftler Theodor Albrecht und Richard Schumann, 1898 (© GFZ Potsdam)

Er behauptete, dass ein großer Urkontinent auseinander gebrochen sei und die einzelnen Kontinentalschollen – ähnlich wie Eisberge im Wasser – in einem relativ schweren Material „schwimmen“ und so voneinander weg gedriftet seien. Die These, dass die Erde unter den Ozeanen aus schwererem Material bestehe als unter den Kontinenten, schlussfolgerte er aus aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen, unter anderem von dem Potsdamer Geodäten Oskar Hecker (1864-1938) und aus daraus folgenden Berechnungen Helmerts (Hecker 1903; Helmert 1909). Als weiteren Beleg für seine Thesen, die er noch im Frühjahr 1912 als umfangreichen dreiteiligen Aufsatz publizierte, brachte er zudem die Ähnlichkeit der Küstenkonturen zwischen Afrika und Südamerika vor. Aber auch die Tatsache, dass Gebirge auf einander gegenüberliegenden Kontinenten aus exakt dem gleichem Gestein bestehen, stützte seine These. Fossile Funde bewiesen in seinen Augen ferner, dass die gleichen Tier- und Pflanzenarten auf nunmehr weit voneinander entfernten Erdteilen früher gemeinsam gelebt haben mussten (Wegener 1912). Er erkannte das Potential seiner Hypothese, welche „ebenso sehr die Geologie, wie die Geophysik, Geodäsie und Geographie

berührt“, und forderte daher von den Geodäten, den Wissenschaftlern von der Vermessung der Erde, den Beweis der Verschiebung der Lage der Kontinente durch telegraphische Langzeit-Vermessungen (Reinke-Kunze 1994 S. 53-72; Wutzke 1998, S. 41). Wegener rechnete zwischen Europa und Nordamerika mit einer Auseinanderbewegung von etwa vier Metern pro Jahr (Wegener 1912, S. 309), die es nachzuweisen galt.

Abb. 15: Alfred Wegener während seiner zweiten Grönlanddurchquerung im Winter 1912/13 (© Archiv für deutsche Polarforschung, Bremerhaven)



Doch Wegener ertete zunächst nur Gelächter, auch weil er die den vermuteten Kontinentalbewegungen zugrunde liegende Kräfte nicht benennen konnte. Noch Anfang des 20. Jahrhunderts glaubten viele Wissenschaftler der von Isaac Newton entwickelten Kontraktionstheorie: Kontinente und Ozeane seien seit Urzeiten fest und unverrückbar an ihren Platz. Durch die kontinuierliche Abkühlung der Erde ziehe sich diese in der Folge fortwährend zusammen. Ähnlich wie bei einem schrumpfenden Apfel enge sich die Erdkruste immer weiter ein und das führe so zur Entstehung der Gebirge.

Als Direktor des Geodätischen Instituts fühlte sich Helmert in der Pflicht, Wegeners Gedanken aufzugreifen. Zudem war Helmert als Wissenschaftsmanager durchaus geübt darin, neue Projekte zu entwickeln und wissenschaftliche Trends zu erkennen. Kaum hatte Wegener seinen dritten und abschließenden Teil des Aufsatzes „Über die Entstehung der Kontinente“ in der Juni-Ausgabe von Petermanns Mitteilungen publiziert (Wegener 1912), stellte Helmert beim Kultusminister einen projektbezogenen Förderantrag über 10.000 Mark, immerhin fast ein Drittel des normalen Jahresetats von 1912/13 in Höhe von 35.084 Mark (Helmert 1913, S. 1), um eine erneute Bestimmung des Längenunterschieds zwischen Europa und Nordamerika mittels Funktelegraphie vorzunehmen. Das Projekt sei als Kooperation mit dem US-amerikanischen Coast and Geodetic Survey in Washington geplant und solle im Sommer 1913 starten, so Helmert. Während die Potsdamer die Entfernung zwischen Potsdam und Horta (Azoren) bestimmen würden, kümmerten sich die amerikanischen Kooperationspartner um die zweite Teilstrecke zwischen Horta (Azoren) und Cambridge/Massachusetts und wollten dafür beim US-amerikanischen Kongress die nötigen Mittel einwerben (BLHA 7, 1912).

Helmert erkannte nicht nur die prestigeträchtige Möglichkeit, mit dem neuesten Stand der Technik eine noch genauere Längenbestimmung als die früheren aus den Jahren 1866, 1870, 1872 und 1892 durchführen zu können, und damit vielleicht sogar den Beleg für

Wegeners bahnbrechende These erbringen zu können. Zusätzlich ergab sich mit diesem Projekt die Chance, die im Sommer 1912 auf dem Telegrafenberg gerade neu installierte Funktelegraphenanlage – für die allerdings „nur beschränkte Mittel zum Ankauf der erforderlichen Apparate zur Verfügung standen“ – gleich mit einem herausragenden Forschungsprojekt zu versehen (Helmert 1913, S. 26).

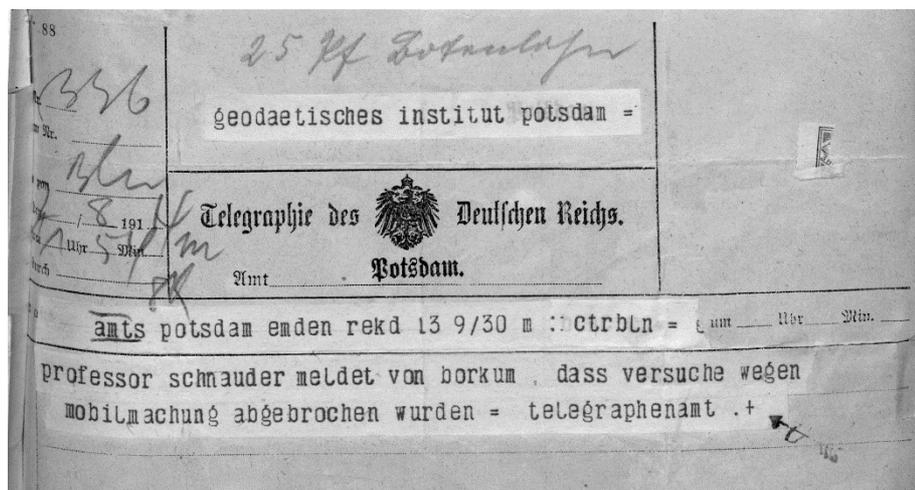
Den ersten Antrag lehnte das Kultusministerium im Januar 1913 allerdings ab, und zwar mit der Begründung, dass „die auf Amerika entfallenden Kosten noch nicht bereit gestellt sind, die Durchführung des Unternehmens im Jahre 1913 mithin noch nicht gesichert sei.“ Die veranschlagten Mittel in Höhe von 10.000 Mark könnten aber für 1914 in Aussicht gestellt werden, wenn die Gesamtfinanzierung des Projekts geklärt und kein weiterer Zuschuss notwendig sei (BLHA 8, 1913). Unterdessen hatten die Vorbereitungen, die von Prof. Theodor Albrecht (1843-1915) geleitet wurden, eine wenig erfreuliche Entwicklung genommen. Anfang November schrieb Helmert an die US-amerikanischen Partner, dass „die Ausführung auf drahtlosem Wege doch recht erhebliche Schwierigkeiten bietet und mit großen Kosten verbunden sein wird.“ Es müssten nicht weniger als vier Telegraphengesellschaften zur Mitwirkung gewonnen werden, so dass unangenehme Komplikationen absehbar seien. Bereits die Verhandlungen mit der Telefunken Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, dem Eigentümer der Antenne in Nauen, gestalteten sich mühsam. Auch könne nicht eingeschätzt werden, wie stabil das Funksignal tatsächlich sei, oder ob es durch „atmosphärische Einflüsse sowie durch Störungen seitens der an den Azoren vorbeifahrenden Schiffe verloren gehen wird.“ Helmert schlug daher vor, von der drahtlosen Längenbestimmung abzusehen und stattdessen das deutsche Überseekabel Emden-Horta-New York zu nutzen. Diese Messung mittels Kabel würde ein Gelingen garantieren, und wäre zudem günstiger. Mit der Deutsch-Atlantischen Telegraphengesellschaft, der Eigentümerin des Kabels, sowie der deutschen Reichspost als Kabelbetreiber seien bereits erste positive Vorgespräche geführt, so Helmert abschließend (BLHA 9, 1913). Allerdings lag ihm bis Ende 1913 immer noch keine definitive Mittelzusage seitens des Kultusministeriums vor (BLHA 10, 1913).

Was dem Geodätischen Institut Potsdam im Sommer 1913 nicht gelungen war, erreichten stattdessen im Dezember die französischen Kollegen: Sie starteten mit einer drahtlosen Längenbestimmung zwischen dem Eiffelturm in Paris und der 1912 errichteten Funken-turmanlage in Arlington bei Washington DC (BArch 1, 1913). Theodor Albrecht hatte Anfang 1914 seine Vorbereitungen nun ganz auf die Längenmessung mittels Kabel konzentriert, musste aber auch konsterniert feststellen, dass „die erforderlichen Mittel noch nicht völlig gesichert“ seien (Helmert 1914, S. 9). Auch Helmert zeigte sich sichtlich verärgert über die bürokratischen Verzögerungen im Ministerium, welche den Erfolg seines Projekts gänzlich gefährdeten. Mit seinen Kontakten zur Hauptstadtspresse arrangierte er ein Interview mit dem Berliner Tageblatt, in dem er die einmalige wissenschaftliche Bedeutung des Vermessungsprojekts Emden-Washington öffentlich unterstrich. Zugleich ließ er den Journalisten schreiben: „Leider droht dieser interessante Plan jetzt zu scheitern, weil inzwischen das französische Institut bereits die gleiche Arbeit, allerdings auf anderem Wege, begonnen hat. Die Schuld daran trägt die preußische Regierung, die die erforderlichen Geldmittel – es handelt sich um 10.000 Mark – zu spät bewilligte.“ Da allerdings auch die französischen Wissenschaftler vor großen Herausforderungen bei der drahtlosen Signalweitergabe stünden, könnten „wir die Vermessung viel früher beenden.“ Er hoffe inständig, so Helmert am Schluss des Artikels, dass die Kooperation mit dem US Coast and

Geodetic Survey zeitnah unterzeichnet werde und die Arbeiten noch im Sommer des Jahres endlich beginnen können (Berliner Tageblatt 1914, S. 4, Hervorhebungen im Original).

Doch es kam anders. Die Amerikaner zeigten sich nunmehr zögerlich und wollten zunächst die Ergebnisse der französischen drahtlosen Längenbestimmung abwarten, so dass Helmert im Wettlauf mit den französischen Kollegen kurzerhand beschloss, die „ganze Längenbestimmung Borkum-Horta-New York selbst in die Hand zu nehmen.“ Er mobilisierte dank seiner exzellenten Kontakte kurzfristig eine zusätzliche Mittelzusage von weiteren 10.000 Mark aus dem Dispositionsfonds des Kaisers (Helmert 1915, S. 11f.), von denen die erste Hälfte zeitnah ausgezahlt wurde. Die Deutsch-Atlantische Telegraphengesellschaft und die Reichspost stellten das Kabel und die notwendigen Apparate kostenlos zur Verfügung, so dass sich Ende Juni 1914 die drei Beobachter mit instrumenteller Ausrüstung zu ihren Stationen begeben konnten: Prof. Theodor Albrecht nach Horta (Azoren), Prof. Albrecht von Flotow (1873-1927) nach Far Rockaway (New York) und Prof. Max Schnauder nach Borkum (Helmert 1915, S. 7). Die transatlantischen Beobachtungen begannen schließlich am 20. Juli 1914. In diesen Tagen steckte der europäische Kontinent bereits mitten in der so genannten Julikrise, die in die wechselseitigen Kriegserklärungen Anfang August 1914 mündete (Krumeich 2013). Am 2. August telegraphierte Schnauder von Borkum nach Potsdam kurz und knapp: „Versuche wegen Mobilmachung abgebrochen“ (BLHA 11, 1914). Drei Tage später durchtrennte ein englischer Kabeldampfer das einzige deutsche Hochseekabel zwischen Emden und den Azoren und beendete damit das Forschungsprojekt der Potsdamer Wissenschaftler endgültig. Europa befand sich im Krieg.

Abb. 16: Telegramm von Prof. Schnauder an das Geodätische Institut, 2. August 1914 (© Brandenburgisches Landeshauptarchiv Rep 465, ZIPE, A 298)



Helmert trieb nun die Sorge um, seine beiden Wissenschaftler Albrecht und von Flotow aus dem Ausland wieder wohlbehalten nach Deutschland zurückzuholen und wandte sich hilfesuchend mit Bitte um Unterstützung an das Auswärtige Amt (BLHA 12, 1914). Den Kultusminister beruhigte er zugleich, dass die ihm zur Verfügung gestellte Summe für das Projekt ausreichen werde, auch wenn zwei der drei Wissenschaftler noch nicht wieder zurück seien (BLHA 13, 1914). Albrecht nutzte hingegen die Zeit und führte bis 15. August in Horta Breitenmessungen durch, bevor er ohne seine Instrumente mit einem portugiesischen Schiff nach Deutschland zurückkehren konnte (Helmert 1915, S. 13; BLHA 13, 1914). Für Prof. von Flotow hingegen waren alle Bemühungen erfolglos. Auch das deutsche Konsulat in New York und die deutsche Botschaft in Washington konnten ihm nicht helfen, so dass er Ende 1914 weitgehend auf sich allein gestellt war und die Zeit an der Ostküste für wissenschaftliche Hospitationen nutzte, indem er sich einen „Einblick in die mannigfachen

Institute und ihre reichhaltigen Einrichtungen“ verschaffte (Helmert 1915, S. 38). Finanzielle Unterstützung erhielt er weiterhin von Helmert, der aus diesem Grunde den Kultusminister um die Freigabe der noch verbliebenen 5.000 Mark bat (GStA PK 1, 1914, Bl. 308ff.). Von Flotow kehrte erst Mitte Juni 1917 zurück. Er hatte dank der guten Kontakte in die USA über den Internationalen Breitendienst, der von Potsdam aus koordiniert wurde, beim Dudley Observatory in Albany (New York) als Gastwissenschaftler arbeiten können (Helmert 1915, S. 39; Helmert 1916, S. 2 und S. 23; Krüger 1918, S. 7 und S. 38-42).

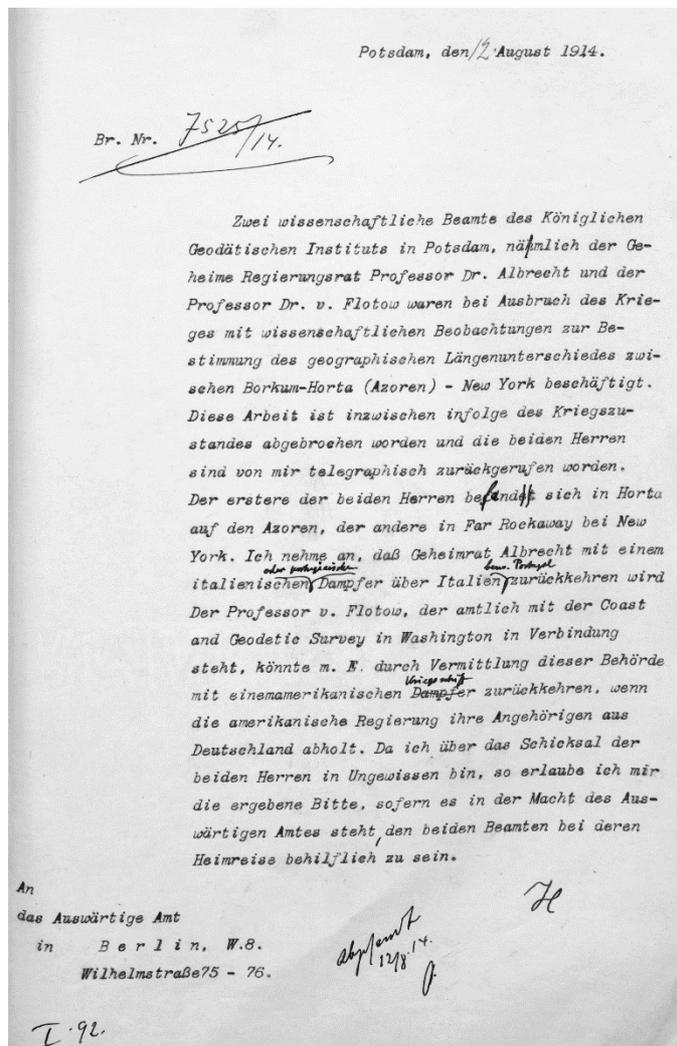


Abb. 17: Schreiben von Prof. Helmert an das Auswärtige Amt, 12. August 1914 (© Brandenburgisches Landeshauptarchiv Rep 465, ZIPE, A 298)

In seinem vorläufigen Zwischenbericht an den Kultusminister zum Ende des Jahres 1914 bilanzierte Helmert es als einen „Glücksfall“, dass sich aus den Beobachtungen der zweiten Julihälfte 1914 trotz allem brauchbare Ergebnisse ableiten lassen, welche perspektivisch „als Grundlage für die Erforschung der vermuteten Verschiebung der Festländer“ dienen könnten (GStA PK 2, 1914, Bl. 311ff.). Für Wegeners Publikation seiner Theorie der Kontinentalverschiebung Anfang 1915 kamen die noch wagen Aussagen jedoch zu spät. Im Vorwort äußert er sein Bedauern, dass die Ergebnisse der „durch meine erste Arbeit veranlassenen deutsch-amerikanischen Längenbestimmung“ durch das Geodätische Institut nicht vorliegen: „Leider hat der Krieg“, so Wegener enttäuscht, „die in besten Gänge befindlichen Messungen jäh unterbrochen und ihre Be-

endigung auf unbestimmte Zeit hinausgeschoben. Aus diesem Grunde erschien es mir richtiger, nicht länger zu zögern, sondern den mir nach Verwundung im Kriege gewährten Erholungsurlaub dazu zu benutzen, mich dieser wissenschaftlichen Verpflichtung zu entledigen“ (Wegener 1915, Vorwort; BLHA 14, 1915).

Im Verlauf des Jahres 1915 hatte schließlich Prof. Schnauder die gesamten vorliegenden Zahlen der älteren europäisch-amerikanischen Längenbestimmungen erneut zu Hand genommen, diese mit den aktuellen Teilstreckenberechnungen des Geodätischen Instituts von 1914, den Ergebnissen der drahtlosen Längenbestimmung Paris-Washington von 1913/14 und neuen US-amerikanischen Messungen ergänzt. Er kam zu dem Fazit, dass „die von A. Wegener [...] ausgesprochene Erwartung einer Veränderung infolge kontinentaler Verschiebung sich nicht bestätigt“ (Helmert 1916, S. 7 und S. 17-19). Die Wissen-

schaftler hatten nach Bereinigung aller Fehlerquellen keine signifikanten zeitlichen Veränderungen bei den funktelegraphischen Längenbestimmungen von der ersten Messung 1866 bis in die Gegenwart hinein erkennen können.

Doch Alfred Wegener ließ sich nicht beirren, er hielt an seiner These fest. In den 1920er Jahren folgten drei weitere, jeweils gänzlich umgearbeitete Ausgaben seines Buches über die Entstehung der Kontinente und Ozeane (Wutzke 1998, S. 6). In ihnen nimmt er auf die Berechnungen des Geodätischen Institutes Bezug, lässt jedoch auch nicht unerwähnt, dass die Verschiebung zu klein sein könnte, um mit dieser Längenmessung sicher wahrgenommen werden zu können. Seine Theorie hat sich erst ein halbes Jahrhundert später mit dem Nachweis der Plattentektonik durchgesetzt. In den 1950er und 1960er Jahren wurden genügend geophysikalische Daten gesammelt, die viele Zweifel beseitigten. Tatsächlich hatten Wissenschaftler den Mechanismus gefunden, den Wegener nicht kannte: Nicht die Kontinente „schwimmen“ durch die Ozeane, sondern die Oberfläche der Erde besteht aus verschiedenen Platten, die sich aufeinander zu, voneinander weg oder aneinander vorbei bewegen. Mit Hilfe von Satellitendaten können die einzelnen Plattenbewegungen heutzutage sogar in Echtzeit beobachtet werden. Sie betragen bis zu 10 cm pro Jahr, eine Distanz, die mit den damaligen Mitteln allerdings messtechnisch nicht nachweisbar gewesen war. Potsdam bewegt sich übrigens mit der eurasischen Platte jährlich zweieinhalb Zentimeter in Richtung Nordosten (Kind 2017, S. 129).

Für das Geodätische Institut Potsdam war aber dieses Forschungsprojekt nach dem Tod Helmerts 1917 und Ende des Ersten Weltkriegs 1918 noch nicht erledigt. Die wertvollen Instrumente mussten nach der abgebrochenen Längenbestimmung von Albrecht in Horta und von Flotow in den USA zurück gelassen werden. Albrecht konnte noch veranlassen, dass seine Instrumente – ein Passageinstrument, eine Pendeluhr Strasser u. Rohde Nr. 101, eine Kiste mit elektrischen Apparaten, drei Zelte mitsamt Holzgestell – nach Lissabon verschifft wurden, wo sich deren Spur in den Kriegswirren zunächst verlor. Von Flotow hatte ein Passageinstrument, eine Pendeluhr Dencker Nr. 27, eine Kiste mit elektrischen Apparaten sowie seine Beobachtungsergebnisse zurücklassen müssen, die von der US-amerikanischen Regierung beschlagnahmt und im Office des Coast and Geodetic Survey sowie im Dudley Observatorium verwahrt wurden (Krüger 1918, S. 8). Erst 1921 kamen die Instrumente aus Portugal zurück, wo sie bis dahin in einem Lagerhaus direkt am Hafen untergebracht waren (Krüger 1921, S. 8). Und schließlich erst 1926 – zwölf Jahre nach Beginn des Vermessungsprojekts – hatte die US-Regierung die dortigen Instrumente freigegeben und die Rücksendung an das Geodätische Institut erlaubt (Kohlschütter 1926, S. 7).

Quellen- und Literaturverzeichnis

BArch 1 (1913): Drahtlose (Funken) Telegraphie, Verbindungen mit dem Ausland. - Tätigkeit der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie GmbH ("Telefunken"): Bd. 34, Bundesarchiv BArch Berlin, R 901/80752.

Berliner Tageblatt (1914): „Wie weit ist es von Deutschland nach Amerika?“, in: Berliner Tageblatt 13. Februar 1914, S. 4.

BLHA 1 (1887): Vereinbarung über das Verhältnis zwischen dem Königlichen Geodätischen Institut und der königlichen Landesaufnahme, Abschrift, 5. Februar 1887, BLHA Rep. 465 ZIPE, A 41.

BLHA 2 (1892): Berechnung der Flurschäden für die Freilegung der Basis bei Bonn im Sommer 1892, BLHA Rep 465, ZIPE, B 304.

BLHA 3 (1892): Protokoll, niedergelegt in einer Glasbüchse über dem nördlichen Endpunkt der Bonner Basis (Abschrift), 27. August 1892, BLHA Rep 465, ZIPE, B 304.

BLHA 4 (1893): Liquidation über Reisekosten und Tagegelder für nachgenannte, zur Vornahme von Basismessungen und der Meßbahn in Bonn in der Zeit vom 27. Juli bis 15. August 1892 von dem Unterzeichneten ausgeführte Dienstreise, 24. Februar 1893, BLHA Rep 465, ZIPE, A 269.

BLHA 5 (1892): Dienstanweisung „Die Dienststunden für das Königliche Geodätische Institut...“, 18. Oktober 1892, BLHA Rep 465, ZIPE, A 257.

BLHA 6 (1925): Die Messungen der Potsdamer Hilfsbasis 1892-1924, Potsdam o.J. [1925], BLHA Rep 465, ZIPE, B 1606.

BLHA 7 (1912): Schreiben vom 10.6.1912 von Helmert an den Kultusminister betreffend die Messung der gegenseitigen Entfernung der Kontinente Europa und Amerika, BLHA Rep 465, ZIPE, A 298, auch in: GStA PK, HA I Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 19, Bl. 190-192.

BLHA 8 (1913): Schreiben Kultusminister an Direktor des Geodätischen Instituts Helmert, 10. Januar 1913, BLHA Rep 465, ZIPE, A 298.

BLHA 9 (1913): Schreiben Helmert an Prof. Tittmann, Coast and Geodetic Survey, 8. November 1913, BLHA Rep 465, ZIPE, A 298.

BLHA 10 (1913): Schreiben Kultusminister an Direktor des Geodätischen Instituts Helmert, 21. November 1913, BLHA Rep 465, ZIPE, A 298.

BLHA 11 (1914): Telegramm Prof. Schnauder an Geodätisches Institut, 2. August 1914, BLHA Rep 465, ZIPE, A 298.

BLHA 12 (1914): Schreiben Helmert an das Auswärtige Amt, 12. August 1914, BLHA Rep 465, ZIPE, A 298.

BLHA 13 (1914): Helmert an den Minister der geistlichen und Unterrichtsangelegenheiten, 15. August 1914, BLHA Rep 465 ZIPE, A 206.

BLHA 14 (1915): Wegener an Albrecht, 14. Juli 1915, BLHA Rep 465 ZIPE, B 2043.

Förster, G. (1930): Untersuchungen von Basisapparaten. II: Der Brunnersche Basisapparat. III: Der Besselsche Basisapparat. Entwurf eines neuen Stangen-Meßapparates, Potsdam.

Hecker, O. (1903) Bestimmung der Schwerkraft auf dem Atlantischen Ozean sowie in Rio de Janeiro, Lissabon und Madrid, Berlin.

GStA PK 1 (1914): Schreiben Helmert an den Kultusminister, 15. November 1914, GStA PK, HA I Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 19, Bl. 308ff.

GStA PK 2 (1914): Schreiben Helmert an den Kultusminister, 14. Dezember 1914, GStA PK, HA I Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 19, Bl. 311ff.

Helmert, F. R. (1887): Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts 1886/87, Berlin.

Helmert, F. R. (1893): Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts 1892/93, Berlin.

Helmert, F. R. (1904): Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts 1903/04, Berlin.

Helmert, F. R. (1909a): Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts 1908/09, Berlin.

Helmert, F. R. (1909b): Die Tiefe der Ausgleichsfläche bei der Prattischen Hypothese für das Gleichgewicht der Erdkruste und der Verlauf der Schwerestörung vom Innern der Kontinente und Ozeane nach den Küsten, Sitzungsber. Berl. Akad. Wiss., S. 1192-1198.

Helmert, F. R. (1913): Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts 1912/1913, Berlin.

Helmert, F. R. (1914): Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts 1913/1914, Berlin.

Helmert, F. R. (1915): Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts 1914/1915, Berlin.

Helmert, F. R. (1916), Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts 1915/1916, Berlin

Höpfner, J. (2014): Rückblick auf ausgeführte Arbeiten und wissenschaftliche Leistungen des Geodätischen Instituts Potsdam [<http://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/escidoc:292657>]

Kind, R. (2017): Schweremessungen, Erdbeben und die Drift der Kontinente, in: Fokus: Erde – Von der Erdvermessung zum System Erde, hrsg. vom Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Berlin, S. 124-129.

Kohlschütter, E. (1925): Jahresbericht des Direktors des Geodätischen Instituts 1924/25, Potsdam.

- Kohlschütter, E. (1926): Jahresbericht des Direktors des Geodätischen Instituts 1925/26, Potsdam.
- Krüger, L. (1918): Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts 1917/1918, Berlin.
- Krüger, L. (1921): Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts 1920/1921, Berlin.
- Krumeich, G. (2013): Juli 1914. Eine Bilanz, Paderborn.
- Kühnen, F. (1897): Die Neumessung der Grundlinien bei Strehlen, Berlin und Bonn, ausgeführt durch das Geodätische Institut, Berlin.
- Laitko, H. (1996): Johann Jacob Baeyer, die internationale Stellung des preußischen Vermessungswesens und die Mitteleuropäische Gradmessung. Mosaiksteine zum Bild eines komplexen Geschehens, in: Dahlemer Archivgespräche 1, S. 58–78.
- Leicht, J. (2017): Das Königlich-Preußische Geodätische Institut, in: Fokus: Erde – Von der Erdvermessung zum System Erde, hrsg. vom Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Berlin, S. 55-60.
- Lerbs, L. (1970): Über die Entwicklung des Geodätischen Instituts Potsdam von der Gründung 1870 bis zur Eingliederung in das Zentralinstitut für Physik der Erde 1969, Diss. (Masch.), Potsdam.
- Reinke-Kunze, C. (1994): Alfred Wegener. Polarforscher und Entdecker der Kontinentaldrift, Basel.
- Sommer, E. (1866): Das transatlantische Kabel im Dienste der Wissenschaft, in: Die Gartenlaube, Heft 38, S. 599–600, Leipzig
- Tiemann, K.-H. (1991): Die Zusammenarbeit von Friedrich Althoff und Wilhelm Foerster bei der Reorganisation des preußischen Geodätischen Instituts und der Europäischen Gradmessung zur Internationalen Erdmessung 1885/1886, in: vom Brocke, B. (Hrsg.): Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftspolitik im Industriezeitalter. Das "System Althoff" in historischer Perspektive, Hildesheim, S. 405–424.
- Torge, W. (1994): Die Geodäsie im Übergang zur international organisierten Wissenschaft: Zum 200. Geburtstag von Johann Jacob Baeyer, in: Zeitschrift für Vermessungswesen 119 (10), S. 513–522.
- Torge, W. (2009): Geschichte der Geodäsie in Deutschland, 2. Aufl., Berlin.
- Wegener, A. (1912): Die Entstehung der Kontinente, in: Petermanns Mitteilungen, Gotha 58 I (1912), Bd. 4, S. 185-195, Bd. 5, S. 253-256, Bd. 6, S. 305-309.
- Wegener, A. (1915): Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, Braunschweig.
- Wutzke, U. (1998): Alfred Wegener. Kommentiertes Verzeichnis der schriftlichen Dokumente seines Lebens und Wirkens (Berichte zur Polarforschung 288), Bremerhaven.

Die Geodäsie-Ausbildung in Berlin – bei Friedrich Robert Helmert als Professor an der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität und heute

Andreas Reinhold, Enrico Mai, Sibylle Itzerott und Harald Schuh

Zusammenfassung

Für den Erhalt und die Neuausrichtung des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts sind Mitte der 1880er Jahre nach dem Tod Johann Jakob Baeyers Entscheidungen zu fällen, die auch den Erhalt des Zentralbüros der Internationalen Erdmessung in Preußen umfassen. Zur Stärkung des Instituts wird mit der Übernahme der Direktion eine ordentliche Professur für Höhere Geodäsie an der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin verbunden. Friedrich Robert Helmert, Professor an der Technischen Hochschule Aachen, übernimmt 1887 das Direktorat und wird gleichzeitig mit der Professur an der Berliner Universität bestallt. Über dreißig Jahre verbindet Helmert die stete Weiterentwicklung der theoretischen Grundlagen der Geodäsie und deren praktische Anwendung. Ein Blick auf die Geodäsieausbildung, wie sie heute in Berlin stattfindet, schließt den Kreis zu Helmerts Wirken vor über 100 Jahren.

Die Königliche Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin

Die 1810 gegründete Königliche Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin (Universität Berlin) zählte zu den bedeutendsten Universitäten in Deutschland im 19. und 20. Jahrhundert. Gegliedert in die vier klassischen Fakultäten Theologie, Jura, Medizin und Philosophie bildete sich auch in Berlin „...im Lauf des 19. Jahrhunderts eine Grundausstattung an planmäßigen Lehrstühlen heraus, über die um 1914 fast alle deutschen Universitäten verfügten.“ (Baumgarten, 1997, S. 62).

Bei der Gründung der Universität Berlin nahmen sieben Naturwissenschaftler den Lehrbetrieb auf, die meist aus älteren wissenschaftlichen Einrichtungen kamen. Der Universität wurden verschiedene Institute der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften (Akademie) zur Verfügung gestellt, darunter auch die Königliche Sternwarte in Berlin (Sternwarte). In den Instituten durften Akademiemitglieder – ohne Dozentenstelle an der Universität – Vorlesungen halten.

Alexander von Humboldt (1769-1859) engagierte sich nach seiner Rückkehr nach Berlin 1827 besonders für die Entwicklung der Naturwissenschaften. „Berlin soll mit der Zeit die erste Sternwarte, die erste chemische Anstalt, den ersten botanischen Garten, die erste Schule für transzendente Mathematik besitzen.“ äußerte er 1829. Diese Zielstellung untermauerte er bis zu seinem Tod durch diplomatisches Geschick bei Berufungsangelegenheiten, Bauprojekten und Gehaltsfragen von Professoren (Baumgarten, 1997, S. 76).

1835 wurde eine neue Sternwarte, die auch mit großer Unterstützung Humboldts begründet werden konnte, „... als ein Übungsfeld ersten Ranges für den astronomischen Nachwuchs an der Universität ...“ (Foerster, 1910) in Betrieb genommen. Die Astronomie-Vorlesungen wurden vom Direktor der Sternwarte, Johann Franz Encke (1791-1865) gehalten, der ab 1844 das Ordinariat für Angewandte Mathematik an der Universität innehatte. Seine astronomischen Vorlesungen in den Jahren seit 1825 hielt er als Mitglied der Akademie.

Im Jahre 1839 wurde ein zweiter Lehrstuhl für Mineralogie begründet, der dann aber für längere Zeit die letzte Erweiterung der naturwissenschaftlichen Fachangebote an der Berliner Universität war. In den folgenden Jahrzehnten stagnierte deren weiterer Ausbau.



Abb. 1: Friedrich-Wilhelms-Universität um 1900 (Humboldt-Universität Berlin, Bibliothek)

Erst nach der Reichsgründung rückten auch die Naturwissenschaften wieder stärker in den Fokus des *Ministeriums der geistlichen, Unterrichts- und Medizinal-Angelegenheiten* (Kultusministerium), in dessen Verantwortungsbereich die Universität lag. Unter den Ministern Adalbert Falk (1827-1900) und Gustav von Goßler (1838-1902) kam es von 1875 bis 1887 zur Gründung von 11 weiteren naturwissenschaftlichen Ordinariaten in der Philosophischen Fakultät. Aus unserer Fachsicht betraf das die Wiederbesetzung der Lehrstühle für Geographie und Astronomie (beide 1875, wobei Astronomie bis 1863 unter Angewandter Mathematik gelesen wurde), die Höhere Geodäsie (1887) – mit Friedrich Robert Helmert (1843-1917) – sowie eine Zweitprofessur für Mathematische Astronomie (1889). Wilhelm Foerster (1832-1921), „... der von 1855 ab zweiter, von 1860 ab erster Assistent der Sternwarte gewesen war ...“ übernahm die Direktion der Sternwarte 1865, nach Enckes Tod. Seit 1863 hatte er als außerordentlicher Professor an der Universität gewirkt und nun 1875 die ordentliche Professur für Astronomie erhalten. (Foerster, 1910)

Als erste Hochschule in Deutschland richtete die Universität Berlin einen Lehrstuhl für Meteorologie (1885) ein und übernahm das bereits 1847 begründete Königlich Preußische Meteorologische Institut als wissenschaftliche Anstalt. (Baumgarten, 1997)

Die Philosophische Fakultät beschäftigte zu Beginn der Professur Helmersts 1887 insgesamt 146 Lehrkräfte, davon 47 ordentliche Professoren. Sie war damit die größte Fakultät der Berliner Universität, die insgesamt über 299 Lehrkräfte verfügte, und blieb dies auch in

der Folgezeit. Im Jahre 1910 hatte sich die Zahl der Lehrkräfte in der Philosophischen Fakultät auf 238 (bei 70 ordentlichen Professoren) erhöht. In der Universität Berlin waren insgesamt 508 Lehrkräfte beschäftigt. Trotz der sehr großen Fakultäten blieb die Struktur der Universität erhalten. In der Gegenwart bilden Mathematik und Naturwissenschaften eigene Fakultäten an der Humboldt-Universität in Berlin. (Lenz, 1910)

Begründung einer Professur für Höhere Geodäsie an der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin

Das 1870 gegründete Königlich Preußische Geodätische Institut (Geodätisches Institut) und die seit 1862 bestehende wissenschaftlich-praktische Zusammenarbeit von mehr als 20 Staaten in der Europäischen Gradmessung bedurften seit den 1880er Jahren einer Reorganisation (Ihde/Reinhold, 2018).

Schon vor dem Tod Johann Jakob Baeyers (1794-1885) am 10. September 1885 hatte Friedrich Althoff (1839-1908), Universitätsreferent im Kultusministerium (Brall/Leicht, 2018), den Direktor der Sternwarte Wilhelm Foerster um Vorschläge für eine Reform des Geodätischen Instituts gebeten, die dieser einreichte. Foerster erneuerte diese Vorschläge unmittelbar nach Baeyers Tod in einem Brief an Kultusminister Gustav von Goßler vom 13. September 1885, in dem er u. a. schreibt „... wenn ich auch mit einiger Zuversicht die Hoffnung aussprechen könnte, daß das ... geodätische Institut als eine Landesanstalt für geodätische Theorie und Forschung, sowie für die astronomisch- und physikalisch-geodätischen Arbeiten, welche die eigentliche wissenschaftliche Befruchtung der Landesvermessungs-Arbeiten bilden, in vollem Umfange aufrecht erhalten werden wird. ... Ein solches geodätisches Institut, welches aufhört, in Widerstreit mit der Landes-Aufnahme ... Arbeiten ... durchzuführen, welches dagegen unter die Leitung eines bedeutenden geodätischen Theoretikers, wie wir ihn z. B. in Prof. Helmert in Aachen besitzen, gestellt wird, ein solches Institut wird auch von der militärischen Landes-Aufnahme sehr bald gewürdigt werden.“ (GStA PK 2, 1885)

Foerster weilte zu dieser Zeit in seiner Eigenschaft als Mitglied des Internationalen Kommission für Maße und Gewichte auf einer Beratung in Paris. Dort traf er den Präsidenten, General Carlos Ibáñez de Ibero (1825-1891), und die beiden Sekretäre der *Permanenten Commission der Europäischen Gradmessung*, Adolphe Hirsch (1830-1901) und Theodor von Oppolzer (1841-1886). Ein ausführlicher Meinungsaustausch der genannten zu den Problemen der wissenschaftlichen Vereinigung Gradmessung im Zusammenhang mit der bisherigen Ausrichtung des Geodätischen Instituts wird von Foerster ausdrücklich im Brief bestätigt.

Die im Ergebnis niedergeschriebenen Vorstellungen Foersters zu den notwendigen Veränderungen in den beiden Institutionen sind wesentlich von den in Paris geführten Diskussionen geprägt und fassen zusammen, wie Preußen mit einem gestärkten Geodätischen Institut seinen Einfluss in der Europäischen Gradmessung erhalten könnte. Mit diesen Zielstellungen stieß Foerster im Kultusministerium auf offene Ohren. Seine Vorschläge wurden in den folgenden Monaten wesentlicher Bestandteil der weiteren Beratungen aller beteiligten Verwaltungseinrichtungen zur Neuausrichtung des Geodätischen Instituts, die sehr wesentlich von Althoff betreut und gesteuert wurden.

Die Diskussionen gipfelten in einem *Entwurf der Grundzüge für die Reorganisation des Geodätischen Instituts*, der den Kommissionsmitgliedern mit der Einladung für die am 15. März 1886 im Kultusministerium anberaumten Konferenz übersandt wurde. Im Punkt

1 des Entwurfs ist festgelegt: *„Die Direktion wird wie beim Meteorologischen Institut mit einer Professur an der Universität verbunden, welcher Vorlesungen über alle Probleme, Methoden und Ergebnisse, betreffend die Bestimmung der Gestalt des Erdkörpers und die Anordnung der Massenvertheilung in demselben, sowie über die Aufgaben und Methoden der Landes-Aufnahme übertragen werden. Hierdurch wird der wissenschaftliche Beruf des Instituts mehr als bisher in den Vordergrund gestellt und zugleich die Aufrechterhaltung der internationalen Beziehungen erleichtert.“* (ABBAW 1, 1886). An der endgültigen Formulierung dieses Punktes war Helmert sicherlich beteiligt, der seit 1. Januar 1886 die provisorische Leitung des Geodätischen Instituts übernommen hatte (GStA PK 1, 1885-1887).

Die geplante neue Eingliederung des Geodätischen Instituts in die Struktur der wissenschaftlichen Institutionen und Gremien des Königreichs Preußen verlief nicht ohne Reibungen, deren Ursachen vorrangig darin begründet lagen, dass unmittelbar betroffene Einrichtungen, wie die Akademie und die Universität, nicht aktiv in die Entscheidungsfindung eingebunden waren. Dass Helmert sehr frühzeitig für die Dienststellung als Professor an der Universität und Direktor des Geodätischen Instituts vorgesehen war, spielte dabei keine Rolle.

So beschwerte sich die Akademie mit Schreiben vom 28. Mai 1886 beim Kultusminister von Goßler, dass deren Gremien offiziell erst bei der jährlichen Beratung des *Wissenschaftlichen Beirats des Geodätischen Instituts* am 21. Mai 1886 in Berlin davon in Kenntnis gesetzt wurden, dass dieser Beirat aufgelöst und das Geodätische Institut eine universitäre Einrichtung werden soll. (GStA PK 1, 1885-1887)

Auch die philosophische Fakultät der Universität möchte in die Entscheidungsfindung einbezogen werden und stellt in einem Schreiben vom 1. Juni 1886 an den Kultusminister fest, dass den der Fakultät angehörigen Mitgliedern der Akademie die Mitteilung vorliege, dass der Minister beabsichtige, *„... dieses Institut (Geodätisches Institut) in ein näheres Verhältnis zur Universität zu setzen und speciell die Direktion desselben mit einer neu zu errichtenden ordentlichen Professur der Geodäsie an der philosophischen Fakultät zu vereinigen.“* Man bittet darum, *„... zu einer Meinungsäußerung darüber Gelegenheit zu geben.“* Das vom Dekan und allen Professoren getragene Schreiben (GStA PK 3, 1886) ist von Professor Wilhelm Scherer (1841-1886, Germanist), amtierender Dekan und seit 1884 Akademiemitglied und Foerster, der zeitlebens nicht in die Akademie aufgenommen wurde, gezeichnet. Dieses Schreiben spiegelt auch bei der Schaffung des Geodäsie-Ordinariats die Bestrebungen der Universität wider, stärkeren Einfluss auf die Besetzung bzw. Wiederbesetzung von Lehrstühlen an der Universität zu bekommen. Im Statut der Fakultät von 1838 heißt es dazu: *„Ist ein Ordinariat erledigt, so ist der Fakultät gestattet, drei für dasselbe geeignete Männer mittelst eines motivirten Gutachtens dem Ministerium vorzuschlagen. Das Ministerium behält sich vor, die Zahl der ordentlichen Nominalprofessuren nach Maßgabe des Bedürfnisses der Fakultät und der vorhandenen Mittel zu vermehren“* (Boschan, 1990). Im Falle des Geodäsie-Ordinariats kommt die zweite Aussage zum Tragen, aber die Universität hatte sicher kein *„Bedürfnis“* angemeldet und bittet deshalb um Information und Klärung. Eine Einigung mit der Universität konnte das Kultusministerium mit dem *„System Althoff“* erzielen (Brall/Leicht, 2018), zumal das Geodätische Institut letztlich kein Universitäts-Institut wurde sondern in der alleinigen Verantwortung des Kultusministeriums (Statut vom 15. Januar 1887, § 3) verblieb (KGI, 1887).

Dem § 4 des neuen Statuts entsprechend, teilte die Akademie mit Brief vom 18. März 1887 dem Kultusministerium mit, dass gegen eine Direktion Helmerts für das Geodätische Institut keine Bedenken vorliegen. (GStA PK 4, 1886; KGI, 1887)

Friedrich Robert Helmerts Berufung an die Universität Berlin

Nun war der Weg frei, die im Herbst 1885 begonnene Reorganisation des Geodätischen Instituts zu vollenden. Seitens des preußischen Staates wurden die notwendigen Finanzmittel bereitgestellt, um die Geodäsie-Professur an der Universität zu begründen: *„Durch den Staatshaushalts-Etat per 1. April 1887/88 sind bewilligt: Ordinarium, Cap. 119 Zit. 2. Ausgabe Universität in Berlin. Zur Einrichtung einer ordentlichen Professur für Geodäsie, Gehalt und Wohnungsgeldzuschuß 6900 M.“* (GStA PK 5, 1886)

Am 15. April 1887 wird Friedrich Robert Helmert zum ordentlichen Professor für Höhere Geodäsie an die Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin berufen. Die Bestallungsurkunde des preußischen Königs Wilhelm I. ist mit dem Wunsch verbunden, *„... daß derselbe Uns und Unserem Königlichen Hause in unverbrüchlicher Treue ergeben bleibe und die Pflichten des ihm übergebenen Amtes in ihrem ganzen Umfange und mit stets regem Eifer erfüllen ...werde ...“* (GStA PK 6, 1887). Am 22. April erfolgte dann die Ernennung zum Direktor des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts.

Mit diesen Berufungen wird auch Helmerts Umzug von Aachen nach Berlin fällig, der Ende April 1887 stattfindet. Für die Berechnung der Erstattungskosten wird dem Geodätischen Institut vom *Kursbüro des Reichs-Postamtes* die kürzeste fahrbare Straßenverbindung zwischen Aachen und Berlin mit 616,48 km bestätigt (BLHA 1, 1887).

Die Universität Berlin wird seitens des Kultusministeriums am 22. April über Helmerts Berufung offiziell informiert, in deren Senat dies am 11. Mai 1887 verkündet wird. Rektor ist zu dieser Zeit der Altphilologe Professor Johannes Vahlen (1830-1911). Der hatte Helmert am 2. Mai alle notwendigen Dokumente und Informationen zur Universität und der Philosophischen Fakultät übersandt und für den 7. Mai morgens um 10:30 Uhr ins Rektorat gebeten, um den Amtseid abzulegen. Helmert erklärte bei diesem Treffen, *„... daß er sich durch den bereits früher geleisteten Preußischen Staatsdienereid auch für alle ihm in seinem gegenwärtigen Amte obliegenden Pflichten für gebunden erachte, ...“* und unterschreibt sofort das zugehörige Dokument. In seinem Personalbogen ist beim Eintrag Habilitation ein Strich. Mit seinem grundlegenden zweibändigen Werk *„Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie“* (Helmert, 1880 und 1884) hat er eigentlich mehr als eine Habilitationsschrift vorgelegt, aber wer sollte ihm die zugehörige Prüfung abnehmen? Im gleichen Bogen ist unter der Rubrik Nebenämter lapidar aufgeführt: *„Direktor des kgl. Preuß. Geodätischen Instituts (zugleich Centralbureau der Internationalen Erdmessung)“* (HUA 1, 1887).

Der Dekan der Philosophischen Fakultät, der Mathematiker Professor Leopold Kronecker (1823-1891), teilte unter Journal Nr. 165 am 28. April 1887 der versammelten Professorenenschaft mit, *... daß Prof. HELMERT die durch den diesjährigen Staatshaushaltsetat neu begründete ordentliche Professur verliehen worden ist.* Friedrich Robert Helmert nahm am 12. Mai 1887 erstmals an einer Sitzung der Professoren teil und wurde vom Dekan als Mitglied der Philosophischen Fakultät der Universität Berlin begrüßt (HUA 10, 1988). Damit beginnt für Helmert eine 30jährige Tätigkeit als ordentlicher Professor für Höhere Geodäsie an der Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin.

Vorlesungsprogramm

Gemäß dem Statut der Philosophischen Fakultät von 1838 hatte Friedrich Robert Helmert sowohl öffentliche als auch private Vorlesungen zu halten. Man konnte auch *privatissima*-Vorlesungen anbieten, um „... in das Innere der Wissenschaften tiefer einzuführen, als durch öffentliche und Privatvorlesungen“.

Bereits bei seiner ersten Teilnahme an einer Fakultätsversammlung am 12. Mai 1887 teilte Helmert mit, dass er „... in diesem Semester öffentlich über Grundzüge der Horizontalaufnahme und Kartierung eines Landes lesen werde“ (HUA 10, 1988). Das Sommer-Semester hatte bereits am 16. April 1887 begonnen. Die genannte Vorlesung konnte deshalb nicht in das dafür gedruckte *Verzeichnis der Vorlesungen, welche auf der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin im Sommer-Semester ... gehalten werden*, aufgenommen werden. Für die späteren Jahre sind diese Ankündigungen vollständig erhalten und im beigefügten Anhang zusammengefasst. (ALB 1, 1887-1917)

Die Professur an der Universität Berlin war auf *wissenschaftliche Vorlesungen* ausgelegt (auch Höhere Geodäsie, Theoretische und Physikalische Geodäsie oder schlicht Erdmessung genannt) und das Ordinariat, wie auch die beiden Ordinariate für Astronomie, in die Mathematischen Wissenschaften der Philosophischen Fakultät integriert. Die Geodäsie-Vorlesungen sind dabei fast durchgängig der Astronomie zugeordnet (bis Sommer-Semester 1894 und ab Sommer-Semester 1900). In den Semestern dazwischen findet sich entweder die Zuordnung zur Mathematik oder zur Geographie, die in der Philosophischen Fakultät mit der Geschichte eine Wissenschaftsgruppe bildet. Welchen Hintergrund dies hatte, ist schwer einzuschätzen. Bei der Zuordnung zur Mathematik im Winter-Semester 1896/97 werden zwei Vorlesungen zur *Methode der kleinsten Quadrate* angeboten – vom Mathematiker Professor Rudolf Lehmann-Filhés (1854-1914) und von Helmert, beide sonntags und unmittelbar aufeinanderfolgend. Bei der Integration zur Geographie könnte man den Versuch vermuten, die inhaltliche Verbindung von Geodäsie und Geographie aufzuzeigen und zu unterstützen. Helmert hat in diesen Jahren auch zur *Theorie der Kartenetze* und zu *Kartenprojektionen* gelesen. In unserer heutigen Zeit mit Geoinformationssystemen in vielen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens ist dies eine alltägliche Zusammenarbeit. Zeitweise war auch die Meteorologie bei den Mathematik-Wissenschaften angesiedelt.

Das Dekanat der Philosophischen Fakultät befand sich im Erdgeschoss des Mittelbaus der Universität. Es ist bisher nicht bekannt, ob Helmert für seine Vorlesungen der große Mathematik-Hörsaal im Hauptgebäude der Universität, Westflügel, I. Stock, zur Verfügung stand. Auch über die Zahl der Hörer fehlen bisher die Angaben.

Von Beginn an stehen die Methoden, Beobachtungen und Berechnungen der Erdvermessung und deren Darstellung in Karten sowie die „*Methode der kleinsten Quadrate*“ im Mittelpunkt der Vorlesungen. Nur im Sommer-Semester 1888 wird auch über „*Kleine geodätische Vermessungen*“ referiert. Höhensysteme spielen immer wieder eine Rolle und bereits ab 1890 halten auch die Schweremessung und die mit ihr verbundenen Massenbetrachtungen zum Erdkörper Einzug in Helmersts Vorlesungsprogramm.

Die drei Vorlesungen zu jeweils einer Stunde pro Woche finden oft mittwochs und sonntags statt. Bis 1892 hat Helmert noch in Berlin gewohnt, danach bezog er die Dienstwohnung im Geodätischen Institut in Potsdam und musste mit der Bahn nach Berlin zur Universität fahren.

Für die Akten

Liquidation
über meine Aufträge für Aufkommene von mir mitgeführten
Einkaufspreisen zwischen Potsdam und Berlin.
1892.

Nr.	Tag	Ort	Beschreibung	Mark	Pfg.
1892	April 1	Potsdam	Ankunft bei der Reise von Potsdam nach Berlin besetzt. Rückreise mit dem Herrn Professor Obergiering Prof. Albrecht für Eisenbahnfahrtschein	1	50
	27	Potsdam	nach Berlin, Besetzung in der Universität für Eisenbahnfahrtschein	1	50
	28	Fahrgeld	für Eisenbahnfahrtschein	1	50
	Mai 4	"	für Eisenbahnfahrtschein	2	35
	5	"	für Eisenbahnfahrtschein	1	50
	7	"	zur Einweisung eines Lepturus für Eisenbahnfahrtschein	1	50
			Posten	2	50
	12	"	Besetzung in der Universität für Eisenbahnfahrtschein	1	50
	13	"	besetzt. Rückreise mit dem Herrn Professor Obergiering Prof. Albrecht für Eisenbahnfahrtschein	2	40
	18	"	Besetzung in der Universität für Eisenbahnfahrtschein	2	35
	19	"	Besetzung in der Universität für Eisenbahnfahrtschein	1	50
	25	"	Besetzung in der Universität für Eisenbahnfahrtschein	1	50
	Juni 1	"	Besetzung in der Universität für Eisenbahnfahrtschein	2	35
			zu Übertragungen	22	45

I 52

Abb. 3:
Erste Seite der Dienstreiseabrechnungen Helmerts über die Fahrten zu beruflichen Terminen und den Vorlesungen nach Berlin im Sommer-Semester 1892 (BLHA 3, 1893)

Im Brandenburgischen Landeshauptarchiv findet sich die detaillierte Abrechnung der Fahrtkosten zu den Lehr- und Besprechungsterminen für die Jahre 1892 bis 1912 (BLHA 3, 1893) in der Personalakte Helmerts. Überwiegend konnte er es einrichten, dass dies nur an zwei Wochentagen notwendig war. Im Sommer-Semester 1894 hatte Helmert als *privatissima* das Privatkolleg „Theorie und Anwendung geometrischer Instrumente“ an das geodätische Institut nach Potsdam verlegt; dies blieb einmalig. Da nur zwei Studenten teilnahmen, konnte er bei der notwendigen Beantragung einer Kur (wegen einer festgestellten Herzvergrößerung) für den Sommer 1894 beim Kultusministerium anbieten, dieses Kolleg schon im

Mai/Juni inhaltlich vollständig abzuschließen. Die Vorlesungen in Berlin könnten seitens des Geodätischen Instituts von Professor Albrecht (Theodor Albrecht (1843-1915), Geodät, Astronom und Abteilungsleiter im Geodätischen Institut) übernommen werden.

Einige Veränderungen kündigen sich im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts an der Berliner Universität an. Die Zahl der Privatdozenten erhöht sich deutlich und damit die Möglichkeit, die Breite der angebotenen Themen und Stoffgebiete in den einzelnen Fachgebieten zu vergrößern. Ein Gewinn für die Studenten auch in der Geodäsie. So las Professor Otto Eggert (1874-1944), der bei Helmert 1897 promovierte, 1904 in Berlin zur *Einführung in die Geodäsie*, 1910 bietet Professor Ernst Kohlschütter (1870-1942) den Themenkomplex Grundzüge der Nautik und außerdem Übungen topographischer Aufnahmen für Forschungsreisende an. Dies wird in den Folgejahren noch um Geographische und koloniale Landmessungen und Photogrammetrie erweitert. Auch andere Wissenschaftsbereiche wie Allgemeine Geophysik und Luftelektrik werden kurzzeitig im Fachgebiet Geodäsie angeboten.

Im letzten Jahrzehnt seiner Vorlesungen konzentriert sich Helmert auf die drei großen Themen *Theorie der Gradmessungen*, *Schwerkraft und Erdgestalt* und *Höhenmessung*. Im

Sommer-Semester 1910 sind die Vorlesungsankündigungen in den Mathematischen Wissenschaften erstmal untergliedert in Mathematik, Astronomie und Geodäsie. Im gleichen Jahr erlebt Helmert, dass Frauen zur Immatrikulation an der Berliner Universität – bei Erfüllung einiger Voraussetzungen – zugelassen werden können, nachdem seit 1906 bereits die Möglichkeit bestand, sich als Gasthörer einzutragen. Da dies aber nur auf das höhere Lehramt beschränkt blieb, hatte Helmert weiter nur mit männlichen Hörern vorlieb zu nehmen.

Von seinen Vorlesungen konnten bisher keine Manuskripte aufgefunden werden. Deshalb seien an dieser Stelle wenigstens zwei Zitate von Hörern genannt, die diese in die Lebensläufe zur Promotion einfügten:

„Zu besonderem Danke bin ich Herrn Geheimen Regierungsrat Professor Dr. Helmert, ... , verpflichtet, dessen Vorlesungen mir dauernd vielseitige Anregung gegeben haben.“ (HUA 4, 1907) und *„Meine wissenschaftliche Ausbildung verdanke ich ... vor allem aber Herrn Geheimrat Prof. Dr. Helmert, dessen Vorlesungen ich in den letzten Semestern hörte und dessen persönlicher Assistent ich seit Ostern 1910 bin“* (HUA 7, 1913). Ob die letzte Aussage stimmt, sei dahingestellt, Hübner wurde zu dieser Zeit als Hilfsrechner für Ausgleichungen geführt.

Die starke Belastung als Direktor des Geodätischen Instituts und Direktor des Zentralbüros der Internationalen Erdmessung, die Professur an der Universität und sein fortschreitendes Alter haben Helmert bewogen, für seine verschiedenen Aufgaben stärker Prioritäten zu setzen. So ließ er sich ab 1903 in einigen Semestern von einer Vorlesung entbinden. Er begründete dies mit anstehenden Arbeiten im Zusammenhang mit der Internationalen Erdmessung: 1906, 1909 und 1912 wegen der Vorbereitung der Allgemeinen Konferenzen oder 1905 mit der Neuherausgabe seines Werkes *Die Ausgleichsrechnung*. Mit dem Jahresbeginn 1910 hatte er außerdem noch die Geschäfte eines Verwaltungsdirektors der Königlichen Observatorien auf dem Telegraphenberg wahrzunehmen.

Ab dem Sommer-Semester 1915 las Helmert noch eine Vorlesung wöchentlich, privatim und unentgeltlich. In der Ankündigung zum Sommer-Semester 1917 ist verzeichnet: Prof. Helmert: liest nicht.

Am 16. Juni 1917 muss der Rektor der Berliner Universität, Professor Ernst Bumm (1858-1925, Mediziner), seinen Kollegen mitteilen, dass der *„... ordentliche Professor in der Philosophischen Fakultät, Geheimer Ober-Regierungsrat Dr. phil., Dr.=Ing. Robert Helmert am 15. d. M. gestorben ist.“* (HUA 9, 1917)

Eine umfassende geodätische Fachausbildung bis zum Landmesser-Staatsexamen auch in der Niederen, später Ingenieurgeodäsie, wie Helmert sie an der Polytechnischen Schule in Dresden erfahren oder in Aachen selbst praktiziert hatte, wurde an der Universität Berlin nicht angeboten.

Diese geodätische Ausbildung erfolgte an dem am 1. April 1883 gegründeten Geodätischen Institut der Königlichen Landwirtschaftlichen Hochschule (gegründet 1881) in der Berliner Invalidenstraße. Ab 1893, bei einer Neustrukturierung der Hochschule, wurde das Institut in die Abteilung II für Geodäsie und Kulturtechnik eingegliedert. Mit der Institutsgründung 1883 wurde Christian August Vogler (1841-1925) auf die ordentliche Professur für Geodäsie berufen, die er bis zur Vollendung des 80. Geburtstages 1921 ausfüllte. 1900 bis 1902 war er Rektor der Landwirtschaftlichen Hochschule.

Man muss davon ausgehen, dass Helmert im engen Kontakt zu Prof. Vogler stand und es ist belegt, dass Studenten der Geodäsie an der Landwirtschaftlichen Hochschule oft ergänzende und weiterführende Vorlesungen an der Universität Berlin hörten, insbesondere wenn eine Promotion angestrebt wurde. Ein Beispiel dafür ist die Promotion von Wilhelm Schulz aus dem Jahre 1906, in der experimentelle Arbeiten an der Landwirtschaftlichen Hochschule behandelt wurden. Während der gesamten Tätigkeit Helmerts als Universitäts-Professor war Vogler sein mit der Ausbildung junger Geodäsie-Nachwuchskräfte beauftragter Fachkollege in Berlin.

Vogler wurde 1893 die Nachfolge von Prof. Christian August Nagel (1821-1903), Helmerts Lehrer und Mentor in Dresden, auf den Lehrstuhl für Geodäsie an der Technischen Hochschule Dresden, angetragen, die er aber nicht annahm (Rößler, 2002).

Promotionen

In Friedrich Robert Helmerts Zeit an der Universität Berlin fallen sieben Promotionen zu geodätischen Themen, für die Helmert als erster Referent verantwortlich zeichnete. Einige Arbeiten berühren offene Fragestellungen terrestrischer Netz-Messungen, später treten auch theoretische und praktische Untersuchungen zu Schweremessungen, einem weiteren Schwerpunkt der Arbeiten im Geodätischen Institut, in den Fokus der Themen.

Die Kandidaten haben einen sehr unterschiedlichen Werdegang erfahren. Zwei promovierten erst im fortgeschrittenen Alter, nachdem fehlende Abschlüsse meist in Abendschulen nachgeholt worden waren. Unter den Kandidaten ist wohl der erste Doktorand, Otto Eggert, in den geodätischen Fachkreisen am bekanntesten geworden.

Am 20. Oktober 1897 ergeht die Meldung zur Promotionsprüfung des *Cand. phil.* Otto Eggert im Fach Geodäsie an die Philosophische Fakultät. Eggert hatte vorher, am 30. Juli 1897, ein Gesuch an Kultusminister Dr. Robert Bosse (1832-1901) gerichtet, in dem er darum bat, dass zu den fünf Semestern Studium an der Universität ein weiteres Semester angerechnet wird. Er hatte vorher vier Semester an der Landwirtschaftlichen Hochschule studiert und im letzten dieser Semester bereits Vorlesungen (mit Bescheinigungen) an der Universität gehört, ohne sich als Student registrieren lassen zu können. Dies wird ihm im *Nachweis des akademischen Trienniums* anerkannt. Das Thema der Promotionsarbeit „*Vergleichung der Ergebnisse des geometrischen und des trigonometrischen Nivellements zwischen den drei Punkten Höhensteig, Irschenberg und Kampenwand nach den durch von Bauernfeind im Jahre 1881 ausgeführten Beobachtungen*“ geht wohl auf eine Anregung Helmerts zurück, der vom Dekan gemeinsam mit Foerster mit der Beurteilung der Arbeit beauftragt wird. Die Dissertation umfasst die drei zusammenfassenden Thesen:

- I. *Die Reduktion gemessener terrestrischer Zenithdistanzen auf Grund der Refraktions-theorien unter Benutzung meteorologischer Elemente ist noch nicht mit genügender Genauigkeit ausführbar.*
- II. *Durch gleichzeitige und gegenseitige, über ganze Tage ausgedehnte Beobachtungsreihen auf mehreren Standpunkten kann man – wenigstens in Gebirgsgegenden – hinreichend sicher die Werte der Refraktion berechnen.*
- III. *Aus Zenithdistanzmessungen können bei grossen Entfernungen ohne Bestimmung der Lotabweichungen in demselben Vertikalschnitt nur näherungsweise Unterschiede von Meereshöhen berechnet werden.*

Helmert schreibt in seiner Beurteilung vom 2. November 1897 u. a.: *„Die Berechnung schließt sich zunächst an ein von mir gegebenes Muster an, geht aber durch Benutzung der Lothabweichungen, die zu meiner Zeit noch fehlten, darüber hinaus. ... Der Verf. zeigt durch seine Arbeit, daß er mit verschiedenartigen geodätischen Formeln und Rechenmethoden vertraut ist und daß er das Zahlenmaterial beherrscht.“* Foerster schließt sich Helmerts Beurteilung an, sodass nach Zustimmung aller Professoren in der Fakultätssitzung am 2. Dezember 1897 die mündliche Prüfung erfolgen konnte. Als Examinatoren sind Professor Emil Warburg (1846-1931) in Physik als Nebenfach (Schwerkraftmessung, Brechung des Lichts, Theorie der Linsen und des Fernrohrs), Foerster in Astronomie (Theorie der astronomisch-geodätischen Ortsbestimmung), Helmert in Geodäsie (Eigenschaften der Niveauflächen in der Nähe der Erdoberfläche, Bestimmung der Erdgestalt aus Ergebnissen von Schweremessungen, Satz von Legendre und Geodätische Linie) sowie Professor Carl Stumpf (1848-1936) im Nebenfach Philosophie (Sokratische Schule und spätere antike Systeme) bestimmt. Helmert und Foerster waren mit der Prüfung sehr zufrieden (*„Der Kandidat zeigte sich sehr gut unterrichtet.“*), nur Stumpf schätzte seinen Teil befriedigend ein. Am Ende wurde das Promotionsverfahren Eggerts mit dem Prädikat magna cum laude abgeschlossen. (HUA 2, 1897)

Otto Eggert, der Schüler Voglers und Helmerts in Berlin, war Dozent an der Universität Berlin, ab 1904 Professor in Danzig, seit 1920 Mitglied der Leopoldina, folgte 1921 seinem Lehrer Vogler in der Professur in Berlin und ging 1925 an die dortige Technische Hochschule. 1936 bis 1939 war Eggert Direktor des Geodätischen Instituts in Potsdam. Bis heute bekannt ist er als einer der Herausgeber der sehr geschätzten Lehrbuchreihe *„Handbuch der Vermessungskunde“*.

Die im Jahre 1906 von Wilhelm Schulz eingereichte Promotionschrift behandelt das Thema *„Untersuchungen über etwaige regelmäßige Änderungen von Höhenunterschieden und über zufällige und systematische Nivellementsfehler“*. Die Arbeit beruht auf experimentellen Untersuchungen in zwei Testgebieten nahe Berlins, die von der Landwirtschaftlichen Hochschule durchgeführt und vom Kandidaten z. T. beobachtet, aber vollständig ausgewertet und wissenschaftlich untersucht wurden. Die Arbeit ist Professor Vogler gewidmet, bei dem Schulz als Assistent arbeitet.

Referent und Koreferent sind wieder Helmert und Foerster, die den Kandidaten *„... als gewandten und sorgfältigen Experimentator, ... einschätzen ... der weiß worauf es bei den schwierigen Feinnivellements ankommt.“* Auch die mathematischen Berechnungen, die Darstellung der Fehlertheorie und die Ausgleichungen sind richtig ausgeführt. Die in der Sitzung der philosophischen Fakultät am 15. November 1906 durchgeführte Promotionsprüfung (in den gleichen Fachgebieten wie bei Eggert) war allerdings nicht ganz so erfolgreich, sodass das Promotionsverfahren mit dem Prädikat cum laude abgeschlossen wurde (HUA 3, 1906).

Die Promotionsarbeit von Otto Kerl, eingereicht am 13. März 1907, trägt das Thema *„Vorausschläge“ der Genauigkeit beim trigonometrischen Punkteinschalten“* und hat damit einen engen Bezug zu Helmerts eigener Dissertation von 1868 (Helmert, 1868) und auch zur Habilitationsschrift von Otto Eggert, die 1903 in der Zeitschrift für Mathematik und Physik erschienen ist (Eggert, 1903). Helmert hätte sich vielleicht von der Arbeit mehr erwartet, wenn er in der Bewertung schreibt: *„Wenn auch theoretisch etwas wesentlich Neues nicht hervorgeht, so ist doch für die Anwendung an Klarheit und Einfachheit gewonnen, und es tritt deutlicher zu Tage, wie zu verfahren ist, um auf Grund von Erkundungen aus den möglichen Strahlen zur Bestimmung eines Neupunktes die vorteilhaftesten auszusuchen.“*

Nur darin sieht Helmert den Fortschritt und plädiert in der Bewertung auf cum laude. Der zweite Gutachter, Professor Schwarz (Hermann Amandus Schwarz (1843-1921), Mathematiker) stellt fest, dass es für ihn schwer gewesen sei „... den Zusammenhang mit wissenschaftlichen Fragen der reinen Mathematik aufzufinden.“ Da es sich aber um angewandte Mathematik handelt und nur kleine Fehler zu finden sind, unterstützt er Helmersts Bewertungsvorschlag, der dann auch in der Verteidigung der Arbeit am 16. Mai 1907 bestätigt wird. (HUA 4, 1907)

Hermann Degner hatte einen längeren Dienst bei der preußischen Armee bereits absolviert, als er 1891 zur Trigonometrischen Abteilung der Preußischen Landesaufnahme einberufen wurde, schied später aus dem aktiven Dienst aus, wurde 1896 Leutnant und bekam 1899 eine etatmäßige Anstellung als Trigonometer. Ab 1898 hörte er in den Wintersemestern Vorlesungen an der Universität und der Technischen Hochschule in Berlin. Die Meldung zur Promotion erfolgte am 6. Mai 1910 mit Einreichung der Arbeit *„Neue Untersuchungen über die Größe der terrestrischen Refraktion unter Verwertung des Beobachtungsmaterials der Königlich Preußischen Landesaufnahme.“* Helmert und Foerster werden als Referenten bestimmt. Das umfangreiche Beobachtungsmaterial und die 10jährige Erfahrung des Trigonometers haben nach Helmert – neben dem großen Fleiß des Kandidaten – dazu geführt, dass er auch neue Erkenntnisse präsentieren kann. Er schreibt: *„Außer der längst bekannten Abhängigkeit des Refraktionskoeffizienten von der Tageszeit hat er die Abhängigkeit von der Geländeform geprüft und in beiden Beziehungen neues gefunden, das auch bereits in den Vorschriften der Königlichen Landesaufnahme Beachtung gefunden hat. ... Eine Steigerung des wissenschaftlichen Gehalts gegenüber ähnlichen früheren Untersuchungen hat die Arbeit erfahren durch die Benutzung des Begriffs der Streuung der Beobachtungswerte, dessen Anwendung allein gestattet, über den Wert gewisser Interpolationsformeln zu entscheiden.“* Helmert empfiehlt für die Arbeit ein laudabile – gut. Die Prüfung am 15. Dezember 1910 ging gerade noch gut, in Philosophie ist ein gerade noch genügend und in Mathematik ein genügend ausgewiesen. (HUA 5, 1911)

Mit den Ergebnissen der Promotion von Gustav Förster 1911 war Helmert sehr einverstanden, zum einen, weil die Untersuchungen und Ergebnisse zum Thema *„Beitrag zur Theorie der Seitenrefraktion“* von ihm selbst angeregt wurden, zum anderen, weil Förster einen sehr langen aber auch sehr erfolgreichen Weg zur Geodäsie genommen hatte. Als jüngster Sohn eines Mühlenbesitzers 1873 geboren, hatte er keine Aussicht, je ins väterliche Erbe zu treten. Nach der Elementarschule arbeitete er in verschiedenen Berufen, u. a. in einem Katasteramt, und kam nach Berlin. Sein Wunsch nach höherer Schulbildung begann in Erfüllung zu gehen, als Helmert ihn 1901 als Hilfsrechner am Geodätischen Institut beschäftigte. Realschul- und Abiturrexamen kann er in der Abendschule absolvieren, um dann ein Studium an der Berliner Universität zu beginnen. Helmert schreibt in seiner Beurteilung der Arbeit vom 30. Mai 1911: *„Herr Gustav Förster wurde von mir vor einigen Jahren mit dem Studium der Seitenrefraktion, die sich etwa bei Beobachtungen vom Turme des Geodätischen Instituts nachweisen lassen würden, beauftragt. Eine Frucht seiner Studien ist die vorliegende Dissertation, die aber weit über das zunächst ins Auge gefaßte Ziel hinausgeht. Zum ersten Male wird gezeigt, daß bei ausgedehnten Dreiecksketten recht beträchtliche Einflüsse von Seitenrefractionen entstehen können, und es bezeichnet die Arbeit daher einen wichtigen Fortschritt der Wissenschaften indem sie Aufklärung über das Auftreten*

Auch Hübner blieb dem Institut noch einige Zeit treu und führte um 1913 einige für die internationale Erdmessung interessante isostatische Schwerkraftreduktionen für afrikanische Küstenstationen aus. 1921 war er bei der Ausmessung und Berechnung der Wasserstands-Beobachtungen an den Pegeln des Instituts behilflich.

Als letzter Kandidat promovierte Hermann Wolff 1913 im Fach Geodäsie bei Friedrich Robert Helmert. Auch dieses Thema hatte Helmert angeregt: *„Die Schwerkraft auf dem Meere und die Hypothese von Pratt“* – ein für diese Zeit sehr aktuelles und interessantes Thema. Aber Helmert ist mit dem Ergebnis nicht zufrieden, zu viele Teile der Arbeit sind anderen, schon vorliegenden Untersuchungen nachvollzogen. Nur bei einzelnen Berechnungen werden zusätzliche Erkenntnisse bei der Auswertung berücksichtigt und als Verbesserungen angebracht. *„Dieser Teil der Arbeit ist recht gut und von wissenschaftlichem Wert. ... Kann man also der Arbeit im ganzen wissenschaftliche Bedeutung zuerkennen, so ist sie mehrfach in der Darstellung mangelhaft, und ich kann dafür nur auf das Prädikat mangelhaft erkennen.“* Helmert versucht noch, eine bessere Bewertung der Dissertation zu erreichen, indem er Wolff bei der Prüfung am 5. Juni 1913 für die Geodäsie ein *„Kandidat zeigte sich sehr gut unterrichtet“* bescheinigt, aber seine Kollegen Struve, Schwarz und Riehl bleiben jeweils bei *„im ganzen befriedigend“*. (HUA 8, 1913)

So ist ausgerechnet diese letzte Dissertation, die Helmert betreut hat, die in der Bewertung schlechteste.

Den Promotionen sind meist Widmungen vorangestellt. Gustav Förster und Otto Kerl widmeten ihre Arbeiten Friedrich Robert Helmert.

Man kann an der Art der Bewertungen erkennen, welche Arbeiten Helmerts Anspruch an eine Promotion entsprochen haben mögen und welche eher nicht. Trotzdem versucht er aus jeder Untersuchung auch kleinste Ansätze für neue Erkenntnisse in der geodätischen Praxis hervorzuheben, um für den Kandidaten ein gutes Ergebnis zu erzielen.

Weitere Promotionen aus dem astronomischen Fachgebiet, die z. T. auch Bezüge zur Geodäsie aufweisen, wurden von den beiden Ordinarien für Astronomie beurteilt. Helmert war möglicherweise in einzelnen Fällen bei der abschließenden Prüfung als Examinator dabei. Vorlesungen Helmerts wurden aber auch von Kandidaten besucht, die nicht explizit Geodäsie studierten. Einer der bekanntesten unter diesen, der Vorlesungen bei Helmert in seinem Lebenslauf zur Promotion aufführt, ist Alfred Wegener (1880-1930), der Begründer der Theorie der Kontinentaldrift, der 1905 eine Arbeit zur Astronomie-Geschichte einreichte.

Bezüglich geodätischer Habilitationen sind in (ALB 2, 1887-1917) keine Hinweise zu finden. Dort sind Promotionen und Habilitationen zusammengestellt und dokumentiert. Dies wird damit zusammenhängen, dass die Arbeit nicht an der Universität publiziert wurde. Man kann aber davon ausgehen, dass die Arbeit von Otto Eggert bei Helmert an der Universität Berlin eingereicht wurde und die Prüfung an der Philosophischen Fakultät stattgefunden hat. (Eggert, 1903)

Zu den Aufgaben aller Professoren in der Fakultät gehörte es, nach vorliegender Beurteilung einer Arbeit, über den Antrag auf Zulassung zur mündlichen Prüfung abzustimmen. Helmert musste damit sein Einverständnis zu allen Dissertationen der Fakultät geben, auch für die Fächer Physik und Chemie oder beispielsweise zu einer Dissertation aus dem philosophischen Bereich zum Thema *„Das Verhältnis der deutschen Großbanken zur Industrie mit besonderer Berücksichtigung der Eisenindustrie“*. Ob er alle diese Arbeiten gelesen hat, ist eher anzuzweifeln. Seine häufige Abwesenheit von den Fakultätssitzungen ist auch in

diesen Zulassungsblättern zur Promotion dokumentiert, wenn unter seinem Namen die Bemerkungen *beurlaubt* oder *abwesend* zu finden sind.

Wirken Friedrich Robert Helmerts in der Philosophischen Fakultät

Friedrich Robert Helmert war mit seiner Berufung an die Universität vollwertiges Mitglied im Lehrkörper der Philosophischen Fakultät geworden. Neben seinen Vorlesungen war er in das akademische und nichtakademische Leben der Fakultät integriert. Es ist die Zeit, in der um die Anerkennung neuer Wissenschaftsdisziplinen gerungen wurde, wo begonnen wurde, die Gliederung der Fakultäten in die vier klassischen Fakultäten zu überwinden. Die Entwicklungen in den Naturwissenschaften und in der Gesellschaft verlangten nach mehr Spezialisierung in der Forschung und forderten damit tieferen und umfassenderen Erkenntnisgewinn. Die Zeit der Universalgelehrten war endgültig vorbei. Das spiegelt sich auch in den Sitzungen der Philosophischen Fakultät schon zu Beginn von Helmerts Mitgliedschaft wider.

Bereits in der Sitzung vom 26. Mai 1887 brachten Helmert und Professor Ferdinand von Richthofen (1833-1905) den Antrag ein, die Promotionsprüfung des Kandidaten Erich von Drygalski (1865-1949) zum Thema *„Die Geoid-Deformation der Eiszeit“* zu genehmigen. Professor Julius Zupitza (1844-1895, Philologe) stellte zur Debatte: *„Nach meiner Ansicht kann „physikalische Geographie“ nicht als ein Hauptfach, in welchem zwei Examinatoren prüfen, betrachtet werden und ich stelle deshalb den Antrag, daß die Sache vor der Prüfung vor die Fakultät kommt.“* Vahlen unterstützt diesen Antrag. Kronecker schlug vor, den Kandidaten neben der Philosophie in den Fächern Physikalische Geographie, Geodäsie und Physik zu prüfen *„... und zwar ohne irgendeine Bezeichnung dieser drei Fächer als Nebenfächer und damit den Umfang oder Ergebnis der Prüfung von vornherein eine Beschränkung auferlegen.“* Helmert beteiligte sich an der vorherigen Diskussion nicht. Die Geodäsie-Prüfung nahm Förster vor. Drygalski war nach seiner Dissertation von 1887 bis 1891 Assistent am Geodätischen Institut und wurde später als Polarforscher (Leiter der ersten deutschen Antarktisexpedition 1901-1903) und Professor in München bekannt.

In den weiteren Sitzungen bis zur Sommerpause 1887 geht es um das ganze Spektrum der Tätigkeit einer Fakultät: Preisgelder, Stipendien, Stiftungen, Bewerbungen, Prüfungsfragen, Zulassungen, Freistellungen oder Vorlesungsausfall und Habilitationsverfahren. Aber auch um die Diskussion zur Zulassung eines Kandidaten zur Prüfung, aber nicht zur Promotion – wegen eines schwebenden gerichtlichen Verfahrens: Teilnahme an einer Schlägerei.

Wichtig war der Bericht von Hermann von Helmholtz (1821-1894) auf der Sitzung am 21. Juli über das Ergebnis einer Sitzung der Ministerialkommission: *„... Es war gelungen, die Einführung einer besonderen Gebühr für die der philosophischen Fakultät angehörigen Hörer naturwissenschaftlicher Vorlesungen zu verhindern ...“* oder die Information an die Fakultät am 25. Juli, wonach von Helmholtz die Physikalisch-Technische Reichsanstalt als Präsident übernehmen wird. In der Sitzung vom 28. Juli 1887 (Journal Nr. 310) wird im Protokoll unter Punkt 3 der Tagesordnung ausgeführt: *„Dr. Konrad DIETERICI bewirbt sich unter Beifügung der erforderlichen Zeugnisse und einiger Probeschriften um die Erteilung der *venia legendi* für das Fach Physik. Zu Gutachtern werden die Professoren Helmert und v. Bezold (Wilhelm von Bezold (1837-1907, Physiker und Meteorologe) bestellt.“* Dietrich wird auf der Sitzung am 10. November 1887 zur Habilitations-Vorlesung mit dem Thema *„Das di-elektrische Verhalten der Isolatoren“* zugelassen.

Die Sitzungen der Fakultät finden mindestens vierzehntägig, bei Bedarf auch wöchentlich oder öfter statt. Insbesondere am Semesterende, wenn noch „aufgeschobene“ Promotionsverfahren (die jeweils am Beginn Sitzungen abgehalten werden) anstehen, kann die Abfolge der Sitzungen nur wenige Tage betragen. Die Sitzungen werden meist zwischen 8 und 10 Uhr abends geschlossen. Helmert wird schon am Beginn seiner Professur an der Universität sehr oft als abwesend geführt, was sicherlich mit seiner Arbeit im Geodätischen Institut und für die Internationale Erdmessung begründet werden muss.

Im Mai/Juni 1888 kommt es wieder zu „Hauptfach“-Diskussionen, diesmal betrifft es die Astronomie, „... da Fakultätsmitglieder mehrfach Bedenken geäußert hätten, ob „Astronomie allein“ als Hauptfach ... ausreiche.“ Auch hierbei beteiligt sich Helmert, obwohl anwesend, nicht an der Diskussion und wird auch nicht in die Kommission berufen, die die prinzipielle Frage des Verfahrens der Promotionsprüfung von Astronomen klären soll. Die Kommission kommt in der Sitzung am 5. Juli 1888 zu dem Schluss, dass „Astronomie allein für sich als Hauptfach unter der Voraussetzung gelten kann, daß in diesem Fach alle Hauptseiten der Astronomie, namentlich die praktische und die mathematische von den Examinatoren durchgenommen werden. Obligatorische Nebenfächer sind dabei entweder Mathematik oder Physik.“ Auch bei der Wahl des neuen Dekans am 1. August 1888 ist Helmert abwesend. (HUA 10, 1988)

Eine umfassende Auswertung aller Protokolle der Sitzungen bis 1917 könnte sicherlich ein realistisches und umfassenderes Bild vom Wirken Helmerts in der Philosophischen Fakultät geben. Aber auch aus diesen wenigen Beispielen zeigt sich, dass seine oft beschriebene ruhige, besonnene und zurückhaltende Art auch hier zum Tragen kam.

Weitere Quellen mit Hinweisen auf das Wirken Helmerts in der Philosophischen Fakultät findet man – eher sporadisch – in gesonderten Veröffentlichungen. So gehörte er im Jahre 1902 der Findungskommission zur Nachfolgebesetzung für den Mathematiker Professor Lazarus Fuchs (1833-1902) an (Biermann, 1988). Dass es solche Kommissionen zu dieser Zeit gibt, unterstreicht den Erfolg der Universität, das Mitspracherecht bei der Auswahl der Professoren schrittweise zu erhöhen. Fuchs hatte den Aufnahmeantrag in die Akademie für Helmert im Jahre 1900 mit unterzeichnet.

In die Formulierung von Preisaufgaben, die in den mathematischen Wissenschaften seit 1824 dazu beitrugen, dass die „... Studierenden Gelegenheit erhalten sollten, gründliche Kenntnis, Schafsinn und Beurteilungskunst zu beweisen“ (Biermann, 1988) wurde Helmert nicht einbezogen. Der mathematische Teil der Geodäsie wurde dazu wohl nicht als geeignet befunden, obwohl man sicherlich sehr anspruchsvolle Anwendungsaufgaben aus der Geodäsie formulieren könnte.

Zu den geodätisch-fachlichen und Fakultäts-Aufgaben als Professor der Universität kommen repräsentative Verpflichtungen für Helmert hinzu. Die Wahl in das Kuratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ist dabei als weitere fachliche Verpflichtung und als Würdigung seiner Leistungen zu sehen und Helmert schreibt auf Anfrage am 22. Juni 1887: „...daß ich (Helmert) es als eine Ehre betrachte, in das Kuratorium der p-t-R als Vertreter der Gradmessung und Hydrographie berufen zu werden und daß ich gern bereit bin, als solcher meine Kraft dieser Anstalt zur Verfügung zu stellen. (BLHA 1, 1887)

Natürlich kommen auch rein repräsentative Anlässe hinzu, wie beispielsweise eine Einladung für den 22. April 1897 zur Enthüllung des Nationaldenkmals für Kaiser Wilhelm I. (an der Helmert teilgenommen und eine Erinnerungsmedaille erhalten hat) oder für den

27. Oktober 1902 zur Eröffnungsfeier des neuen Pharmazeutischen Instituts der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin in Steglitz-Dahlem. (BLHA 2, 1902)

Diese Einladungen boten einen willkommenen Anlass, am gesellschaftlichen Leben in Berlin und Potsdam teilzunehmen, bei Gelegenheit allgemeine und Fach-Gespräche zu führen und interessante Menschen kennenzulernen. Allein das Arbeitspensum von Friedrich Robert Helmert ließ seine Teilnahme sicherlich nur an wichtigen und ausgewählten Veranstaltungen zu. Ein Nachweis darüber wurde nicht gefunden.

Ausklang

Friedrich Robert Helmert hatte mit der Direktion des Geodätischen Instituts in Berlin und ab 1892 in Potsdam, der damit verbundenen Leitung des Zentralbüros der Internationalen Erdmessung und der Professur an der Berliner Universität ein sehr anspruchsvolles, umfangreiches und arbeitsintensives Aufgabenspektrum zu bewältigen. Neben der Mitgliedschaft in der Akademie resultierten daraus auch sehr umfangreiche gesellschaftliche Verpflichtungen.

Für Friedrich Robert Helmert war es sicherlich eine Freude und Genugtuung, dass sein Wirken und sein unermüdlicher Einsatz für die Entwicklung und die Vervollkommnung der geodätischen Forschung eine breite Anerkennung gefunden hat. Belegt ist dies durch Mitgliedschaften oder korrespondierende Mitgliedschaften in vielen in- und ausländischen Akademien, Wissenschafts- und Gelehrtenvereinigungen, in verliehenen Orden, Ehrenzeichen und Medaillen aus Ländern der ganzen Welt und nicht zuletzt in der von der Technischen Hochschule Aachen verliehenen Ehrendoktor-Würde. Diese Ehrungen trugen auch zum Ansehen der Berliner Universität bei. Die Geodäsie in Deutschland erlebte mit Helmert eine Hoch-Zeit.

Trotzdem ist die Erinnerung an die Geodäsie an der Humboldt-Universität Berlin schon frühzeitig verblasst. Zu den Jahrhundert-Geburtstagen der Berliner Universität in den Jahren 1910 (Lenz, 1910) und 2010 (Tenorth, 2010 und 2012) erschienen jeweils vierbändige Monographien. Die Geodäsie spielte in diesen Werken und damit in der Universitätsgeschichte keine oder nur eine sehr untergeordnete Rolle. Friedrich Robert Helmert ist 2010 im Personenverzeichnis des Registers nicht genannt.

Die Darlegungen zu Friedrich Robert Helmersts Wirken als Hochschullehrer in Berlin sind eine Bestandsaufnahme und Auswertung der mit vertretbarem Aufwand auszuwertenden Unterlagen in Archiven und Bibliotheken. Es gibt sicher weitere Aspekte, die zu untersuchen wären, aber wegen der bisher bekannten Aktenlage mehr Aufwand erfordern. Viele Zeugnisse von Helmersts Schaffen sind möglicherweise durch Kriegsverluste nicht mehr verfügbar.

Es gibt Aspekte, die eine weitere Beschäftigung mit dem Thema interessant machen. Insbesondere sein Wirken in der Philosophischen Fakultät und Habilitationen wäre eine intensivere Recherche wert, aber auch sein Austausch oder Briefwechsel mit bekannten Gelehrten seiner Zeit – Max Planck, Albert Einstein, Robert Koch – um nur drei zu nennen, ist eine Untersuchung wert, wenn Quellen vorhanden sind.

Friedrich Robert Helmert hatte 1868 anlässlich seiner Bewerbung bei Baeyer für eine Tätigkeit an dem in Aussicht gestellten Geodätischen Institut bescheiden geschrieben, dass er „... beabsichtige, Lehrer der Geodäsie zu werden oder eine entsprechende Stellung der

Praxis einzunehmen“ (Buschmann, 1993). Seit 1887 erfüllte er beide Aufgaben mit Hingabe und Engagement, mit großem Einsatz und Erfolg. Nicht umsonst wird er als berühmtester und wichtigster Geodät seiner Zeit und darüber hinaus international noch heute gefeiert.

Studentische Geodäsie-Ausbildung aus aktueller Hochschullehrersicht

Neben der geodätischen Fachausbildung an der Königlichen Landwirtschaftlichen Hochschule in der Invalidenstraße gab es eine weitere Lehrstätte in der vor 1920 noch nicht zu Berlin gehörenden Stadt Charlottenburg, die dortige Königlich Technische Hochschule zu Berlin, gegründet 1879 und beheimatet an der Berliner Straße 151 (später 171-172). Hier lehrte von Beginn an Richard Doergens (1839 – 1901) Geodäsie in der Abteilung II Bau-Ingenieurwesen. Diese Stellung hatte er auch schon an der Vorgängereinrichtung, der königlichen Gewerbe-Akademie zu Berlin inne. Vorlesungen zur Niederen und zur Höheren Geodäsie für die verschiedenen Ingenieurstudiengänge, Geodätische Praktika sowie Praktische Übungen im Feldmessen und Planzeichnen sind beispielsweise aus dem Vorlesungsverzeichnis 1892/1893 zu nennen (TUB, 1892). Im Jahr 1899 erhielt die Hochschule sogar als erste Technische Hochschule Deutschlands das Recht, ein Ingenieursdiplom und den Grad als Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) zu vergeben. Nach dem Tode Doergens 1901 übernahm Prof. Werner die Lehrveranstaltungen. In den Vorlesungsverzeichnissen der Folgejahre taucht Prof. Andreas Galle, fast 40 Jahre Mitarbeiter des Geodätischen Institutes Potsdam, als Privatdozent zu astronomisch-geodätischen Themen auf. Er bekam wie mehrere seiner Potsdamer Kollegen vor und nach ihm den Professorentitel per Patent verliehen, ohne einen Lehrstuhl inne zu haben.

Nach der Eingemeindung Charlottenburgs nach Berlin 1920 und der Angliederung der Geodäsie der Landwirtschaftlichen Hochschule an die Technische Hochschule Mitte der zwanziger Jahre taucht ab 1925 der Name von Otto Eggert, dessen Promotion und Vita bereits besprochen wurde, als Hochschullehrer im Vorlesungsverzeichnis auf.

Heutzutage findet die Berliner Geodäsie-Ausbildung an zwei Hochschulen statt. Einerseits an der „Technischen Universität Berlin“ (TUB), hervorgegangen aus diversen Vorgängereinrichtungen und als solche neueröffnet 1946 im ehemals britischen Sektor West-Berlins, in deren Hauptgebäude in Berlin-Charlottenburg, andererseits an der „Beuth Hochschule für Technik Berlin“ (ehemals TFH, Technische Fachhochschule) in Berlin-Wedding. Nachfolgend wird nur die Entwicklung der Ausbildung am „Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik“ (IGG, heutige aktuelle deutsche Bezeichnung) der TUB seit Anfang der 1990er Jahre in groben Zügen nachgezeichnet.

Die Fortführung des früheren Diplomstudienganges „Vermessungswesen“ stand unmittelbar vor dem Mauerfall aufgrund geringer Studentenzahlen mehrfach in der Diskussion. Nach der deutschen Wiedervereinigung kam es jedoch zu einem abrupten Anstieg der Studentenzahlen. In der ehemaligen DDR konnte nur an der TU Dresden ein universitäres Geodäsiestudium absolviert werden. Die Dresdner Studenten rekrutierten sich dabei fast ausschließlich aus den Absolventen einer ebenfalls am Rande Dresdens in Altlockwitz beheimateten Ausbildungsstätte für „Vermessungsfacharbeiter mit Abitur“. Viele von ihnen nahmen nach der Wende, aus diversen Gründen heraus, ein Studium andernorts auf, u. a. an den o. g. Hochschulen in Berlin. Diese Situation führte zeitweise zu recht beengten räumlichen Verhältnissen an der TUB, da die Anfängerzahlen dort rasant von zuvor oftmals weniger als zehn auf nunmehr einige Dutzend anstiegen. Zudem erfolgte die praktische

Ausbildung der Studierenden aufgrund zu wenig vorhandenen geodätischen Instrumentariums wie z. B. Vermessungsgeräten verstärkt in Gruppen, wodurch die individuelle Ausstattungs- und Betreuungssituation teilweise litt. Entsprechende Investitionen und räumliche Veränderungen führten jedoch zur allmählichen Verbesserung der Lehrbedingungen.

Die wissenschaftlichen Themen Helmerts, etwa Untersuchungen zum Verlauf geodätischer Linien, spielten im Wesentlichen in Veranstaltungen zur Höheren Geodäsie, also in den Fachgebieten „Astronomische und Physikalische Geodäsie“ sowie „Mathematische Geodäsie“, eine zentrale Rolle. In sukzessiven Vorlesungen zur Erdmessung und Satellitengeodäsie kamen sie ebenso zur Sprache, wie in sukzessiven Vorlesungen zu mathematischen Methoden und Differentialgeometrie auf gekrümmten Bezugsflächen.

Bis zur Vordiplomprüfung kamen die Studierenden in den Vorlesungen der Professoren H. Herzog, E. Mittermayer und D. Lelgemann zu den Fächern „Grundlagen der Vermessungskunde“ und „Mathematisch-Physikalische Grundlagen der Geodäsie“ mit Helmerts Themen in Berührung. Fast alle Studierenden absolvierten auch das anschließende Hauptstudium und bekamen in den bereits genannten Fächern zur Höheren Geodäsie eine vertiefende fundierte Ausbildung angeboten. Die Studierenden durchliefen im Wesentlichen alle dieselbe Fächerzusammenstellung, d. h., eine Unterscheidung in Pflicht- und Wahlfächer war noch nicht üblich. Mit Ablegung der Hauptdiplomprüfung war für den Großteil der Studierenden die universitäre Geodäsie-Ausbildung abgeschlossen. Die Regelstudienzeit für Grundstudium plus Hauptstudium betrug neun Semester, wobei das letzte Semester der Erstellung einer Diplomarbeit diente. Eine weiterführende Doktorandenausbildung war möglich, entweder im Rahmen eines Promotionsstudiums mit universitätsfinanzierter fünfjähriger Qualifizierungsstelle und dabei i. d. R. als wissenschaftlicher Mitarbeiter mit Lehraufgaben oder im Rahmen von drittmittelgeförderten Forschungsprojekten, in der Regel DFG-finanziert (Deutsche Forschungsgemeinschaft) und zumeist ohne Lehraufgaben. Das Promovieren (Abschluss Dr.-Ing.) durch Abfassung einer Monographie (Regelfall) bzw. kumulative Doktorarbeit (Ausnahme) wurde stets von einigen Jahrgangabsolventen in Angriff genommen, gerade auch zu Themen der Höheren Geodäsie, und dabei zumeist erfolgreich abgeschlossen. Die ebenfalls vorhandene Möglichkeit zur anschließenden Habilitation (Abschluss Dr.-Ing. habil.) wurde hingegen vergleichsweise sehr selten in Anspruch genommen, zumal die dazu damals üblichen sechsjährigen (3+3 Jahre mit Verbeamtung auf Zeit) universitätsfinanzierten Qualifizierungsstellen nur selten zur Verfügung standen. Der Habilitand hatte als wissenschaftlicher Assistent dann ebenfalls Lehraufgaben wahrzunehmen und schloss das Verfahren neben dem Verfassen einer Habilitationsschrift durch Abhalten eines Forschungsvortrages und einer Lehrprobe ab. Für diese beiden öffentlichen Vorträge hatte der Absolvent jeweils drei eigene Themenvorschläge einzureichen. Die lebenslange Lehrbefähigung (*venia legendi*) verlieh die TUB automatisch nach erfolgreichem Abschluss des zuvor angedeuteten Habilitationsverfahrens. Die nur auf gesonderten Antrag des Habilitanden noch zusätzlich verliehene universitätsbezogene Lehrbefugnis (*venia docendi*, Abschluss PD Dr.-Ing. habil.) war dann durch andauernde Lehrtätigkeit in einem Mindestumfang von zwei Semesterwochenstunden aufrechtzuerhalten, also durch eine in die reguläre Geodäsie-Ausbildung eingebundene Privatdozententätigkeit.

Aufgrund des generell in einer Ingenieurausbildung angestrebten hohen praktischen Bezuges war die Geodäsie-Ausbildung in fast allen Fächern geprägt durch umfangreiche Hausarbeiten, individuelle wie kollektive. Einzelne Fächergruppen wurden durch teils mehrstündige schriftliche Klausuren abgeprüft. Studentische wissenschaftliche Hilfskräfte wur-

den zahlreich eingesetzt und ermöglichten interessierten Studierenden eine neben der eigenen Ausbildung nochmals intensivere Beschäftigung als Tutoren mit dem Lehrbetrieb sowie mit den Forschungsinhalten am IGG. Durch eine stets enge Verbindung des IGG mit dem Geoforschungszentrum (GFZ) Potsdam kamen die Studierenden und wissenschaftlichen Mitarbeiter/Assistenten zudem in Kontakt zu aktuellen Forschungsinhalten über TUB-eigene Schwerpunkte hinaus. Tatsächlich rekrutierte sich der wissenschaftliche Nachwuchs der geodäsiebezogenen Abteilungen am GFZ zu einem großen Teil aus in astronomisch-physikalischer Geodäsie fundiert ausgebildeten Absolventen des IGG.

Diese enge Verzahnung aus universitärer Geodäsie-Ausbildung und institutionellen Forschungszentren im Berlin-Brandenburger Raum war auch in den Folgejahren prägend, etwa nach der Umstellung des Diplomstudienganges in einen reinen Masterstudiengang (Abschluss M.Sc.) im Zuge des allgemeinen Bologna-Prozesses. Es wurden sogenannte S-Professuren eingerichtet, d. h., Professorenstellen am IGG geschaffen, die neben der TUB jeweils hauptsächlich an einer außeruniversitären Forschungseinrichtung angesiedelt waren. Zusätzlich zum GFZ mit den Professoren M. Rothacher (mittlerweile ETH Zürich), H. Schuh, F. Flechtner, J. Wickert ist hier das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) in Berlin-Adlershof mit Prof. Oberst zu nennen. Darüber hinaus ist das IGG über den „Geo-X“ Verbund mit anderen Instituten im Raum Berlin-Brandenburg zur Geoforschung vernetzt. Zusätzlich existieren Kooperationen mit weiteren nationalen wie internationalen Partnern, hauptsächlich im Rahmen von zumeist DFG-finanzierten Drittmittelprojekten.

Im Rahmen der Umstellung vom neunsemestrigen Diplomstudiengang auf den fünfsemestrigen Masterstudiengang im Jahre 2006 wurde die eigentlich ebenfalls angestrebte Einrichtung eines vorgelagerten Bachelorstudienganges (Abschluss B.Sc.) seitens der TUB aus finanziellen Gründen nicht genehmigt. Gleichwohl existieren aktuell Bestrebungen am IGG, die Bachelorausbildung in naher Zukunft einzuführen. Deren derzeitiges Fehlen macht um so stärkere Anstrengungen notwendig, um ausreichend geeignete Kandidaten für die Masterausbildung ans IGG zu holen. Dieser Zustand war absehbar und führte zu der Entscheidung, den vormals rein deutschsprachigen Diplomstudiengang durch einen rein englischsprachigen Masterstudiengang zu ersetzen. In einer kurzen Übergangszeit fanden noch Parallelangebote statt, um eine möglichst reibungslose Ausbildung der verbliebenen Diplomanden, auch über deren Regelstudienzeit hinaus, zu ermöglichen. Nur wenige Geodäsie-Studierende anderer deutscher Universitäten mit existierendem Bachelorstudiengang wechselten und wechseln nach ihrem B.Sc.-Abschluss ans IGG und deshalb wird der neue Masterstudiengang massiv international beworben. Nach anfänglichen Schwierigkeiten hat sich mittlerweile eine stabile Situation eingestellt, was die reine Anzahl an interessierten Kandidaten betrifft. Jedoch erfüllen bei weitem nicht alle Bewerber die Zugangsvoraussetzungen. Seit Jahren bleibt festzustellen, dass die Anfänger des Masterstudiums sehr heterogen sind bezüglich ihrer Geodäsie-Vorkenntnisse, da deren Bachelorausbildung oftmals nicht in der Geodäsie erfolgte, sondern bestenfalls in eng benachbarten Disziplinen wie z. B. der Geographie oder Geophysik. Es sind auch Studiengänge darunter, deren Abstand zu Helmertschen Themen um ein Vielfaches größer ist, so dass für ein erfolgreiches Absolvieren der Vorlesungen und Übungen zur Höheren Geodäsie wie z. B. „Physikalische Geodäsie“, „Mathematische Geodäsie“, „Einführung in die Satellitengeodäsie“ oder „Satellitenbahnberechnung“ teilweise erhebliche Zusatzanstrengungen seitens der Studierenden selbst aber auch der Lehrenden notwendig sind.

Die Umstrukturierung der Geodäsie-Ausbildung an der TUB hat zudem dazu geführt, dass die Studierenden nunmehr verstärkt Kurse bzw. Module wählen können, im Sinne einer

Vertiefungsrichtung und es keine schriftlichen Prüfungen mehr gibt sondern nur noch mündliche, zudem kaum noch umfangreichere praktische Messkampagnen. Aktuell existieren vier Vertiefungsrichtungen am IGG. Hier werden nachfolgend nur die deutschen Bezeichnungen genannt, für die englischsprachigen verweisen wir auf den entsprechenden IGG-Internetauftritt: „Geoinformationstechnik“, „Ingenieurgeodäsie und Ausgleichsrechnung“, „Computer Vision und Fernerkundung“ sowie „Geodätische Raumverfahren und Navigation“. Die Helmertschen Themen werden im Wesentlichen im letztgenannten Bereich unterrichtet durch die dafür zuständigen Fachgebiete „Planetengeodäsie“, „Präzisionsnavigation und –ortung“, „Satellitengeodäsie“, „Physikalische Geodäsie“ sowie „GNSS-Fernerkundung, Navigation und Positionierung“. Diese Vertiefungsrichtung wird also durch mehrere - und dabei insbesondere die S-Professoren - geleitet und ist somit eng verzahnt mit den wissenschaftlichen Aktivitäten und Themen am GFZ und DLR. Viele Themen für Master- und Doktorarbeiten haben dadurch einen unmittelbaren Bezug zu brandaktuellen Forschungsthemen an diesen außeruniversitären Einrichtungen und sind von hoher praktischer Relevanz. Zudem stellen diese Verbindungen potentielle Möglichkeiten für die Studierenden dar, ihre akademische Laufbahn in der Forschung fortzusetzen.

Für die Zukunft bleibt zu wünschen, dass die Geodäsie-Ausbildung an der TUB im Rahmen eines Masterstudienganges recht bald ergänzt werden kann durch die Einführung eines zusätzlichen Bachelorstudienganges, damit die Lehrinhalte – gerade auch die theoretisch anspruchsvollen Helmertschen Themen – mit der ihnen gebührenden Detailtiefe wieder unterrichtet werden können und Institutionen wie GFZ, DLR aber auch die Vermessungsverwaltung und die freien Berufe auch weiterhin fundiert ausgebildeten geodätischen wissenschaftlichen Nachwuchs direkt aus Berlin rekrutieren können.

Anhang

Zusammenstellung der Vorlesungsankündigungen für das Ordinariat Höhere Geodäsie an der Königlich Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin in der Zeit vom Wintersemester 1887/88 bis zum Sommer-Semester 1917. Professor Friedrich Robert Helmert, zusammengestellt aus (ALB 1, 1887-1917).

Winter-Semester vom 16. October 1887 bis 15. März 1888

Mathematische Wissenschaften.

Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.

Bestimmung der Figur der Erde,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, sonnabends, 9-10 Uhr, privatim.
Höhenmessung,	Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 10-11 Uhr, öffentlich.

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1888

Mathematische Wissenschaften.

Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.

Gradmessungen,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, sonnabends, 10-11 Uhr, privatim.
Kleine geodätische Vermessungen,	Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 11-12 Uhr, öffentlich.

Winter-Semester vom 16. October 1888 bis 15. März 1889**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Methode der kleinsten Quadrate, Prof. H e l m e r t, dienstags, 5-6 Uhr, öffentlich.

Anwendung der kürzesten Linie
auf die Geodäsie, Prof. H e l m e r t, dienstags, freitags, 4-5 Uhr, privatim.**Sommer-Semester vom 24. April bis 13. August 1889****Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Theorie der Kartenprojektionen, Prof. H e l m e r t, freitags, 11-12 Uhr, öffentlich.

Die Horizontalaufnahme eines Landes, Prof. H e l m e r t, dienstags, freitags, 10-11 Uhr, privatim.

Winter-Semester vom 16. October 1889 bis 15. März 1890**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Bestimmung der Figur der Erde, Prof. H e l m e r t, mittwochs, sonnabends, 9-10 Uhr, privatim.

Höhenmessung, Prof. H e l m e r t, sonnabends, 10-11 Uhr, öffentlich.

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1890**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Über Gradmessungen, Prof. H e l m e r t, mittwochs, sonnabends, 10-11 Uhr, privatim.

Die Einwirkung von Massen auf der Erdoberfläche
auf die Gestalt des Meeresniveaus, Prof. H e l m e r t, sonnabends, 9-10 Uhr, öffentlich.**Winter-Semester vom 16. October 1890 bis 15. März 1891****Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*Anwendung der kürzesten Linie
auf die Geodäsie, Prof. H e l m e r t, sonnabends, 9-11 Uhr, öffentlich.

Methode der kleinsten Quadrate, Prof. H e l m e r t, mittwochs, 9-11 Uhr, privatim.

*Mathematik**Die Lehre von der Winkelmessung**und von der Zeitmessung, Prof. F o e r s t e r, mittwochs, sonnabends, 2-3 Uhr, privatim.***Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1891****Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Theorie der Kartenprojektionen, Prof. H e l m e r t, mittwochs, sonnabends, 9-10 Uhr, privatim.

Die Horizontalaufnahme
eines Landes, Prof. H e l m e r t, mittwochs, 10-11 Uhr, öffentlich.

Winter-Semester vom 16. October 1891 bis 15. März 1892**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Methode der kleinsten Quadrate, Prof. L e h m a n n – F i l h è s, freitags, 3-4 Uhr, öffentlich.
 Höhenmessung, Prof. H e l m e r t, mittwochs, 9-10 Uhr, öffentlich.
 Bestimmung der Figur der Erde, Prof. H e l m e r t, sonnabends, 9-11 Uhr, privatim.
 Hansens Methode der Berechnung absoluter Störungen, Prof. L e h m a n n – F i l h è s, montags, donnerstags, 3-5 Uhr, privatim.

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1892**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Gradmessung, Prof. H e l m e r t, mittwochs, 9-11 Uhr, privatim.
 Fehlertheorie, Prof. F o e r s t e r, dienstags, freitags, 2-3 Uhr, öffentlich.

Winter-Semester vom 16. October 1892 bis 15. März 1893**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Methode der kleinsten Quadrate, Prof. H e l m e r t, Sonnabend, 11-1 Uhr, privatim.
 Anwendung der kürzesten Linie auf die Geodäsie, Prof. H e l m e r t, donnerstags, 6-8 Uhr, öffentlich.

Sommer-Semester vom 17. April bis 15. August 1893**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Theorie der Kartenprojektionen, Prof. H e l m e r t, sonnabends, 11-1 Uhr, privatim.
 Die Horizontalaufnahme eines Landes, Prof. H e l m e r t, sonnabends, 9-10 Uhr, öffentlich

Winter-Semester vom 16. October 1893 bis 15. März 1894**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Einführung in Aufgaben der Land- und Erdmessung, Prof. H e l m e r t, montags, 5-7 Uhr, privatim.
 Über den Einfluss von Massen an der Erdoberfläche auf die Gestalt des Meeres, Prof. H e l m e r t, donnerstags, 6-7 Uhr, öffentlich.

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1894**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Über die geometrischen Methoden zur Bestimmung der Gestalt der Erde, Prof. H e l m e r t, donnerstags, 6-7 Uhr, öffentlich.
 Theorie und Anwendung geometrischer Instrumente, Prof. H e l m e r t, einmal in der Woche in noch zu bestimmenden Stunden im Königlichen Geodätischen Institut zu Potsdam, Telegrafenberg.

Winter-Semester vom 16. October 1894 bis 15. März 1895**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Mathematik.*

Methode der kleinsten Quadrate,	Prof. H e l m e r t,	donnerstags, 6-7 Uhr Abends, privatim.
Figur der Erde,	Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 11-12 Uhr, öffentlich

Sommer-Semester vom 17. April bis 15. August 1895**Geschichte und Geographie.***Geschichte und Geographie durch Abschnitte unterteilt, Helmert unter Geographie.*

Theorie der Kartennetze,	Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 9-10 Uhr, öffentlich.
Höhenmessung,	Prof. H e l m e r t,	donnerstags, 7-8 Uhr, privatim.

Winter-Semester vom 16. October 1895 bis 15. März 1896**Geschichte und Geographie.***Geschichte und Geographie durch Abschnitte unterteilt, Helmert unter Geographie.*

Anwendung der kürzesten Linie auf die Geodäsie,	Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 12-1 Uhr, öffentlich.
Über den Einfluss von Massen an der Erdoberfläche auf die Gestalt des Meeres,	Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 11-12 Uhr, privatim.

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1896**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Die Horizontalaufnahme eines Landes,	Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 10-11 Uhr, öffentlich.
Über Gradmessungen,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, sonnabends, 9-10 Uhr, privatim.

Winter-Semester vom 16. October 1896 bis 15. März 1897**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Mathematik und Geographie.*

<i>Methode der kleinsten Quadrate,</i>	<i>Prof. L e h m a n n – F i l h é s,</i>	<i>sonnabends, 10-11 Uhr, öffentlich.</i>
Methode der kleinsten Quadrate,	Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 11-12 Uhr, privatim. <i>Mathematik</i>
Über den Einfluss von Massen an der Erdoberfläche auf die Gestalt des Meeres,	Prof. H e l m e r t,	donnerstags, 6-7 Uhr, öffentlich. <i>Geographie</i>

Sommer-Semester vom 21. April bis 14. August 1897**Geschichte und Geographie.***Geschichte und Geographie durch Abschnitte unterteilt, Helmert unter Geographie.*

Theorie der Kartenprojektionen,	Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 9-10 Uhr, öffentlich.
Höhenmessung,	Prof. H e l m e r t,	donnerstags, 6-7 Uhr, privatim.

Winter-Semester vom 16. October 1897 bis 15. März 1898**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Mathematik und Geographie.*

<i>Methode der kleinsten Quadrate,</i>	<i>Prof. L e h m a n n – F i l h é s,</i>	<i>sonnabends, 10-11 Uhr, öffentlich.</i>
Methode der kleinsten Quadrate,	Prof. H e l m e r t,	donnerstags, 6-7 Uhr, privatim. <i>Mathematik</i>
Figur der Erde,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 12-1 Uhr, öffentlich. <i>Geographie</i>

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1898**Geschichte und Geographie.***Geschichte und Geographie durch Abschnitte unterteilt, Helmert unter Geographie.*

Höhenmessung, Über die geometrischen Methoden zur Bestimmung der Gestalt der Erde,	Prof. H e l m e r t, Prof. H e l m e r t,	mittwochs, sonnabends, 9-10 Uhr, privatim. mittwochs, sonnabends, 10-11 Uhr, öffentlich.
--	--	---

Winter-Semester vom 16. October 1898 bis 15. März 1899**Geschichte und Geographie.***Geschichte und Geographie durch Abschnitte unterteilt, Helmert unter Geographie.*

Über den Einfluss von Massen an der Erdoberfläche auf die Gestalt derselben, Anwendung der kürzesten Linie auf die Geodäsie,	Prof. H e l m e r t, Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 12-1 Uhr, privatim. sonnabends, 11-12 Uhr, öffentlich.
---	--	---

Sommer-Semester vom 17. April bis 15. August 1899**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Methode der kleinsten Quadrate, Die Bestimmung der Figur der Erde,	Prof. H e l m e r t, Prof. H e l m e r t,	mittwochs, sonnabends, 9-10 Uhr, privatim. mittwochs, sonnabends, 10-11 Uhr, öffentlich.
---	--	---

Winter-Semester vom 16. October 1899 bis 15. März 1900**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie und Geographie.*

Gradmessungen, Kartenprojektionen,	Prof. H e l m e r t, Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 10-11 Uhr, öffentlich. <i>Astronomie</i> mittwochs, 11-12 Uhr, privatim. <i>Geographie</i>
---------------------------------------	--	--

Sommer-Semester vom 18. April bis 15. August 1900**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Über die Messung von Höhen, Anwendung der kürzesten Linie auf die Geodäsie,	Prof. H e l m e r t, Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 11-12 Uhr, privatim. mittwochs, 10-11 Uhr, öffentlich.
---	--	--

Winter-Semester vom 16. October 1900 bis 15. März 1901**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Über die Bestimmung der Figur der Erde, Anwendung der kürzesten Linie auf die Geodäsie,	Prof. H e l m e r t, Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 12-1 Uhr, privatim. mittwochs, 11-12 Uhr, öffentlich.
---	--	---

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1901**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Figur und Schwerkraft der Erde, Theorie der Kartenprojektionen,	Prof. H e l m e r t, Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 11-12 Uhr, privatim. donnerstags, 61/2-71/2 Uhr, öffentlich.
--	--	--

Winter-Semester vom 16. October 1901 bis 15. März 1902**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Theorie der Kartenprojektionen,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 12-1 Uhr, privatim.
Theorie der Gradmessungen,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 11-12 Uhr, öffentlich.

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1902**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Über die Bestimmung der Figur der Erde,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 11-12 Uhr, öffentlich.
Schwerkraft und Gestalt der Erde,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 12-1 Uhr, privatim.

Winter-Semester vom 16. October 1902 bis 15. März 1903**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Theorie der Kartenprojektionen,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 12-1 Uhr, privatim.
Theorie der Gradmessungen,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 11-12 Uhr, öffentlich.

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1903**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Schwerkraft und Gestalt der Erde,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 10-11 Uhr, privatim.
Über die Bestimmung der Figur der Erde,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 11-12 Uhr, öffentlich.
<i>Barometrische Höhenmessung mit praktischen Übungen,</i>	<i>Dr. Eggert,</i>	<i>montags, 2-3 Uhr, privatim.</i>

Winter-Semester vom 16. October 1903 bis 15. März 1904**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Figur und Schwerkraft der Erde,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 12-1 Uhr, privatim.
Methode der kleinsten Quadrate,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 11-12 Uhr, öffentlich.
<i>Physik der Erde, Gestalt und Größe der Erde,</i>	<i>Dr. We i n s t e i n,</i>	<i>sonnabends, 12-1 Uhr, unentgeltlich.</i>

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1904**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Theorie der Gradmessungen,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 10-11 Uhr, öffentlich.
Theorie der Kartenprojektionen,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 11-12 Uhr, privatim.
<i>Einführung in die Geodäsie,</i>	<i>Dr. Eggert,</i>	<i>mittwochs, 8-10 Uhr, privatim.</i>

Winter-Semester vom 16. October 1904 bis 15. März 1905**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Die kürzeste Linie in ihrer Anwendung auf geodätische Messungen,	Prof. H e l m e r t,	sonnabends, 11-12 Uhr, öffentlich.
Über die Bestimmung der Figur der Erde,	Prof. H e l m e r t,	mittwochs, 11-12 Uhr, privatim.

Sommer-Semester vom 26. April bis 15. August 1905**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Methode der kleinsten Quadrate,	Prof. Helmert,	mittwochs, 11-12 Uhr, privatim.
Schwerkraft und Gestalt der Erde,	Prof. Helmert,	mittwochs, 10-11 Uhr, öffentlich.

Winter-Semester vom 16. October 1905 bis 15. März 1906**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Methode der kleinsten Quadrate,	Prof. Helmert,	mittwochs, 11-12 Uhr, privatim.
Schwerkraft und Gestalt der Erde,	Prof. Helmert,	mittwochs, 10-11 Uhr, öffentlich.

Sommer-Semester vom 17. April bis 15. August 1906**Mathematische Wissenschaften.***Mathematik und Astronomie durch Abschnitte unterteilt. Helmert unter Astronomie.*

Gradmessungen, Theorie,	Prof. Helmert,	mittwochs, 10-11 Uhr, öffentlich.
Theorie der Kartenprojektionen,	Prof. Helmert,	mittwochs, 11-12 Uhr, privatim.

Ab Winter-Semester 1906/07 gebundene Hefte mit Inhalts- und Personenverzeichnis:

Winter-Semester vom 15. Oktober 1906 bis 15. März 1907**Mitteilungen für die Studierenden der Universität Berlin:**

... Jeder Studierende hat für jedes Semester mindestens eine Privatvorlesung anzunehmen, widrigenfalls er aus dem Verzeichnis der Studierenden gestrichen wird.

Für Privatvorlesungen werden in allgemeinen berechnet 5 M für die Wochenstunde und das Semester, also z. B. für eine wöchentlich vierstündige Vorlesung 20 M für das Semester. ...

... Als Gasthörer werden auch Frauen zugelassen. ... mit Nachweis Reifezeugnis – mindesten Ober-Sekunda bzw. das Reifezeugnis einer Realschule, oder bestandene Lehrerinnen-Prüfung.

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Astro		
Methode der kleinsten Quadrate	mittwochs 11-12	privatim
Gradmessungen	mittwochs 10-11	öffentlich

Sommer-Semester vom 15. April bis 15. August 1907

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Astro		
Figur der Erde	mittwochs 10-11	öffentlich
Geodätische Dreiecke	mittwochs 11-12	privatim

Winter-Semester vom 15. Oktober 1907 bis 15. März 1908

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Astro		
Schwerkraft und Erdgestalt	mittwochs 10-11	öffentlich
Methode der kleinsten Quadrate	mittwochs 11-12	privatim

Sommer-Semester vom 22. April bis 15. August 1908

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Astro		
Theorie der Kartenprojektionen	mittwochs 11-12	privatim
Methode der kleinsten Quadrate	mittwochs 10-11	öffentlich

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1912

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Astro
 Höhenmessungen mittwochs 11-12 öffentlich
 Theorie der Gradmessungen mittwochs 10-11 privatim

Winter-Semester vom 16. Oktober 1912 bis 15. März 1913

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Geodäsie
 Theorie der Kartenprojektionen mittwochs 11-12 öffentlich
 Schwerkraft und Erdgestalt mittwochs 10-11 privatim
Geographische und koloniale Landmessung, Dr. Kohlschütter

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1913

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Geodäsie
 Höhenmessung mittwochs 11-12 öffentlich
 Die kürzeste Linie in der Geodäsie mittwochs 10-11 privatim

Winter-Semester vom 16. Oktober 1913 bis 15. März 1914

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Geodäsie
 Geodätische Dreiecke mittwochs 11-12 öffentlich
 Theorie der Gradmessung mittwochs 10-11 privatim

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1914

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Geodäsie
 Ausgewählte Aufgaben der Erdmessung mittwochs 10-11 öffentlich

Winter-Semester vom 16. Oktober 1914 bis 15. März 1915

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Geodäsie
 Methode der kleinsten Quadrate mittwochs 11-12 privatim
 Schwerkraft und Erdgestalt mittwochs 10-11 öffentlich
Mathematische Geographie Dr. Kohlschütter

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1915

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Geodäsie
 Gestalt und Größe der Erde mittwochs 9-10 öffentlich

Winter-Semester vom 16. Oktober 1915 bis 15. März 1916

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Geodäsie
 Theorie der Gradmessung mittwochs 11-12 privatim/unentgeltlich

Sommer-Semester vom 17. April bis 16. August 1916

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Geodäsie
 Geodätische Dreiecke mittwochs 11-12 privatim/unentgeltlich

Winter-Semester vom 16. Oktober 1916 bis 15. März 1917

Prof. Helmert: mit Dienstwohnung Potsdam, Telegrafenberg eingetragen, Mathe/Geodäsie
 Die geodätische Linie in der Erdmessung mittwochs 11-12 privatim/unentgeltlich

Sommer-Semester vom 16. April bis 15. August 1917

Dr. Helmert, Potsdam, Kgl. Geodätisches Institut. Liest nicht

Quellen- und Literaturverzeichnis

ABBAW 1 (1886): Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv, Historische Abteilung 1812-1945, Sternwarte Babelsberg, Nr. 206, Ministerium der geistlichen Angelegenheiten, Blätter 17r-17bv.

ALB 1 (1887-1917): Verzeichnis der Vorlesungen, welche auf der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin im ... gehalten werden. Sommersemester 1887 bis Sommersemester 1917. Albertina, Universitätsbibliothek Leipzig, Freihandbereich.

ALB 2 (1887-1917): Jahresverzeichnisse der an den deutschen Universitäten erschienen Schriften. Jahresverzeichnis III (1887-1888) bis Jahresverzeichnis XXXIII (1917).

Albertina, Universitätsbibliothek Leipzig, Freihandbereich.

BLHA 1 (1887): Acten des Königl. Preuss. Geodätischen Instituts betr. den Direktor des Geodätischen Instituts, Professor Dr. Helmert, Geheimrath. Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Reg. 465 AdW ZIPE A 219, 1885-1917.

BLHA 2 (1902): Diverse internationale Arbeiten, allgemeine Verwaltung Direktor. Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Reg. 465 AdW ZIPE A 185.

BLHA 3 (1892): Reisekostenliquidation Prof. Helmert, 1. März 1893, BLHA Rep 465, ZIPE, A 269.

Baumgarten, M. (1997): Professoren und Universitäten im 19. Jahrhundert. Kritische Studien zur Geschichtswissenschaft 121. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1997.

Biermann, K.-R. (1988): Die Mathematik und ihre Dozenten an der Berliner Universität 1810-1933. Stationen auf dem Wege eines mathematischen Zentrums von Weltgeltung. Akademie-Verlag, Berlin, 1988.

Boschan, B. (1990): Zur Entwicklung der Philosophischen Fakultät der Berliner Universität im Zeitraum 1870 – 1900. Dissertation (A), Humboldt-Universität zu Berlin, unveröffentlicht. Berlin 1990.

Brall, A./Leicht, J. (2018): Friedrich Robert Helmert im "System Althoff". Preußische Wissenschaftspolitik und das Geodätische Institut. In: dieser Sammelband 2018.

Buschmann, E. (1993): F. R. Helmerts Bewerbung bei J. J. Bayer. AVN 100, Heft 10, 385-390, 1993.

Eggert, O. (1903): Über die günstigsten Punktlagen beim "Einschneiden". In: Zeitschrift für Mathematik und Physik, Band 49, 1903, S. 145 u. ff.

Foerster, W. (1910): Die Sternwarte und das astronomische Recheninstitut. In: Lenz, M. (Hrsg.): Geschichte der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin. Dritter Band: Wissenschaftliche Anstalten, Spruchkollegium, Statistik. Verlag der Buchhandlung des Waisenhauses, Halle a. d. S., 1910.

GStA PK 1 (1885-1887): GStA PK, HA Rep.76 Kultus, Vc Sekt.1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 12, 1885-1887.

GStA PK 2 (1885): Brief Wilhelm Foerstlers vom 13.09.1885 aus Paris an den Kultusminister. GStA PK, HA Rep.76 Kultus, Vc Sekt.1 Tit.XI Teil II Nr.5 Bd. 12, Blätter 10-13, 1885.

GStA PK 3 (1886): Brief der Philosophischen Fakultät der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin vom 01.06.1886 den Kultusminister. GStA PK, HA Rep.76 Kultus, Vc Sekt.1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 12, Blatt 170, 1886.

GStA PK 4 (1886): Brief der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften vom 01.06.1886 den Kultusminister. GStA PK, HA Rep.76 Kultus, Vc Sekt.1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 12, Blätter 210-212, 1886.

GStA PK 5 (1887): GStA PK, I. HA Rep. 76 Kultusministerium, Va Sekt. 2 Tit. IV Nr. 61 Bd. 1. Anstellung, Besoldung und Dienstverhältnisse der ordentlichen und außerordentlichen Professoren in der Philosophischen Fakultät der Universität Berlin, Bd. 1, 1886-1887, Blatt 288.

GStA PK 6 (1887): Kopie der Bestallung Helmerts als ordentlicher Professor der Friedrich-Wilhelms Universität. GStA PK, HA Rep.76 Kultus, Vc Sekt.1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 12, Blatt 270, 1887

Helmert, F. R. (1868): Studien über rationale Vermessungen im Gebiet der höheren Geodäsie. Inaugural-Dissertation, Teubner, Leipzig, 1868.

Helmert, F. R. (1880): Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie, I. Teil: Die mathematischen Theorien, Leipzig, 1880.

Helmert, F. R. (1884): Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie, II. Teil: Die physikalischen Theorien: Mit Untersuchungen über die mathematische Erdgestalt auf Grund der Beobachtungen, Leipzig, 1884.

HUA 1 (1887): Humboldt-Universität Berlin, Universitätsarchiv: Akten der Friedrich-Wilhelms Universität zu Berlin, betreffend: o. Professor Dr. Phil Robert Helmert. Philosoph. Fak. (Personalakte). 1885 bis 1917, hier: 1887.

HUA 2 (1897): Phil.Fak.01 Promotionen 342 (Otto Eggert) 1897.

HUA 3 (1906): Phil.Fak.01 Promotionen 421 (Wilhelm Schulz) 1906.

HUA 4 (1907): Phil.Fak.01 Promotionen 427 (Otto Kerl) 1907.

HUA 5 (1911): Phil.Fak.01 Promotionen 490 (Hermann Degner) 1911.

HUA 6 (1911): Phil.Fak.01 Promotionen 504 (Gustav Förster) 1911.

HUA 7 (1913): Phil.Fak.01 Promotionen 529 (Erich Hübner) 1913.

HUA 8 (1913): Phil.Fak.01 Promotionen 534 (Hermann Wolff) 1913.

HUA 9 (1917): Humboldt-Universität Berlin, Universitätsarchiv: Akten der Friedrich-Wilhelms Universität zu Berlin, betreffend: o. Professor Dr. Phil Robert Helmert. Philosoph. Fak. (Personalakte). 1885 bis 1917, hier: 1917.

HUA 10 (1988): Humboldt-Universität Berlin, Universitätsarchiv: Regesten zu den Fakultätsprotokollen der Philosophischen Fakultät der Universität Berlin. Januar 1876 bis Oktober 1892. Teil: IV: Juni 1885 bis Juli 1889, bearbeitet von Heinz Kossack, Berlin 1988.

Ihde, J./Reinhold, A. (2018): Friedrich Robert Helmert zum 100. Todestag - dem Begründer der modernen Geodäsie. In: dieser Sammelband 2018.

KGI (1887): Statut für das Königlich Geodätische Institut. P. Stankiewicz` Buchdruckerei, Berlin, 1887.

Lenz, M. (1910, (Hrsg.): Geschichte der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin. Dritter Band: Wissenschaftliche Anstalten, Spruchkollegium, Statistik. Verlag der Buchhandlung des Waisenhauses, Halle a. d. S., 1910.

Rößler, H. (2002): Aus der Geschichte des Geodätischen Instituts der Technischen Universität Dresden. In: Geodäsie im Wandel - Einhundertfünfzig Jahre Geodätisches Institut. Schriftenreihe des Geodätischen Instituts, Heft 1. Dresden, 2002.

Technische Universität Berlin – Universitätsbibliothek (1892): Programm für das Studienjahr 1892-1893, <http://ubsrvgoobi2.ub.tu-berlin.de/viewer/resolver?urn=urn:nbn:de:kobv:83-goobi-198664>

Tenorth, H.-E. (Hrsg.) (2010): Geschichte der Universität Unter den Linden. Band 5. Transformation der Wissensordnung, Akademie-Verlag. De Gruyter, Berlin, 2010

Tenorth, H.-E. (Hrsg.) (2012): Geschichte der Universität Unter den Linden. Band 1. Gründung und Blütezeit der Universität zu Berlin 1819 bis 1918. Akademie-Verlag. De Gruyter, Berlin, 2012.

Von der Helmertschen Erdfigur zur Satellitengravimetrie

Frank Flechtner, Karl-Heinz Ilk, Christoph Reigber und Reiner Rummel

Zusammenfassung

Im ersten Teil der Abhandlung werden rückblickend die Verdienste von Friedrich Robert Helmert zur Bestimmung der Erdfigur und Schweremessung dargelegt. Nachfolgend sind die wesentlichen Schritte bis zur Entwicklung der Satellitentechnologie und des Computers skizziert, die ab der Mitte des 20. Jahrhunderts einsetzte. Im Einzelnen werden die zahlreichen Überlegungen zur Entwicklung der Satellitengravimetrie dargestellt, die sich in zahlreichen Studien und Workshops und den dabei erarbeiteten Programmschriften dokumentierte. Mit der schrittweisen Entwicklung der Satellitengeodäsie wurden angemessene Analysemethoden von einer internationalen Wissenschaftlergemeinschaft erarbeitet, deren prinzipielle Methodik dargestellt wird. Der in der letzten Dekade des 20. Jahrhunderts eingeleitete Übergang von passiven Satelliten zu mit spezieller Sensorik ausgestatteten Satelliten zur Schwerefeldbestimmung wird im dritten Teil behandelt. In der zeitlichen Abfolge ihres Starts, werden Vorgeschichte, Missionsziele und Messprinzipien der seit dem Jahr 2000 geflogenen Missionen CHAMP, GRACE und GOCE skizziert und wesentliche wissenschaftliche Ergebnisse der einzelnen Missionen hervorgehoben. In einem letzten Abschnitt wird auf die besonderen Charakteristiken der erst kürzlich erfolgreich gestarteten GRACE Follow On Mission eingegangen und ein Ausblick auf Planungen einer nächsten Generation von Schwerefeldmissionen gegeben.

1. Von Helmert bis Molodenskii

Als Friedrich Robert Helmert (1843-1917) in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Bühne der geodätischen Forschung betrat, hatte die Kenntnis von der Figur der Erde bereits einen hohen Entwicklungsstand erreicht, sowohl auf dem Gebiet der Theorie als auch in anwendungsorientierter Hinsicht. Dennoch hatte sich eine eigenständige geodätische Wissenschaft noch nicht etabliert. Die verschiedenen Teilprobleme, die mit der Vermessung des Erdkörpers verbunden waren, wurden zwar schon in aller Sorgfalt behandelt, aber die Überlegungen zur Erdfigur waren mehr von grundlegendem wissenschaftlichem Interesse. Der große Alexander von Humboldt hatte um die Mitte des 19. Jahrhunderts in seinem vierbändigen Werk Kosmos die Aufgabe, den Erdkörper zu messen und zu wiegen, als gelöst betrachtet (Bialas, 1996). Damit schien dieses Thema nicht mehr von weitergehendem wissenschaftlichem Interesse zu sein.

Eingeleitet wurde der Erkenntnisprozess über die Figur der Erde mit der kopernikanischen Wende im 16. und 17. Jahrhundert (Nikolaus Kopernikus, 1473-1543) und der sich anschließenden rasanten Entwicklung der Naturwissenschaften, die vor allem mit den Namen Galileo Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630), Isaac Newton (1642-1726) und Christiaan Huygens (1629-1695) verbunden ist (Perrier, 1950). Diese Entwicklung hatte auch unmittelbare Konsequenzen für eine präzise Vorstellung von der Figur der Erde. Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts beschäftigte man sich vor allem mit der geometrischen Gestalt der Erde. Isaac Newton (1642-1726) und Christiaan Huygens (1629-1695) vermuteten, dass die durch Messungen festgestellte Verminderung der Schwere bei abnehmender Breite eine notwendige Konsequenz der Figur und der Rotation der Erde sein müsse und demzufolge die Erde ein abgeplattetes Rotationsellipsoid sein müsse. Alexis-Claude

Clairaut (1713-1765) bzw. Colin MacLaurin (1698-1746) konnten diese Annahmen im Falle einer homogenen Massenverteilung in den Jahren 1737 bzw. 1740 beweisen. Clairaut formulierte im Jahre 1743 einen Zusammenhang zwischen der geometrischen und der physikalischen Abplattung der Erde für ein vereinfachtes Erdmodell (Theorem von Clairaut). Dass die Erde ein Rotationsellipsoid ist, also eine gewisse Abweichung von der Kugelgestalt aufweist, darüber herrschte zu Beginn des 18. Jahrhunderts allgemein Konsens. Allerdings war man sich nicht im Klaren, wie groß die Abweichungen sind. Man war sich sogar nicht ganz sicher - trotz des Ergebnisses nach dem Theorem von Clairaut -, ob das Rotationsellipsoid an den Polen abgeplattet oder aufgewölbt ist. Um den Sachverhalt endgültig, basierend auf genaueren Messungen zu klären, wurden von der französischen Akademie der Wissenschaften Expeditionen nach Peru (Pierre Bouguer (1698-1758) u.a.) und Lappland (Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759) u.a.) veranlasst. Die Ergebnisse dieser Messungen und weiterer Nachmessungen bestätigten die Newtonsche Theorie, so dass man bereits 1740 von einer an den Polen abgeplatteten Erde ausgehen konnte. Durch die Einführung des Triangulationsverfahrens im Jahre 1615 durch Snellius (Willebrord van Roijen Snell (1580–1626)) erlebte diese sog. geometrische Methode einen rasanten Aufschwung und hatte bei einer kontinuierlichen Verbesserung der Messinstrumente im 19. Jahrhundert einen bemerkenswerten Stand erreicht. Carl Friedrich Gauß (1777-1855), Adrien-Marie Legendre (1752-1833) und Pierre-Simon (Marquis de) Laplace (1749-1827) haben mit ihren Arbeiten zur Ausgleichsrechnung und zur Methode der kleinsten Quadrate die Auswertung redundanter Messungen bereits auf einen sehr hohen Stand gebracht. Durch die Analyse der überschüssigen Messungen konnte man auch über die Genauigkeiten der Rechenergebnisse eine zuverlässige Aussage machen. Überdies hatte Gauß mit seinen Arbeiten zur Flächentheorie die Grundlagen für geodätische Abbildungen geschaffen. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts beherrschte diese im Wesentlichen geometrische Methode die Bestimmung der Erdfigur. Es wurden zahlreiche Referenzellipsoide aus Gradmessungen abgeleitet. Zu nennen sind insbesondere die Ellipsoide von Bessel und Clarke.

Auf theoretischem Gebiet waren bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts die Arbeiten von Newton und seinen Zeitgenossen durch die großen französischen Mathematiker, Physiker und Astronomen wie Pierre-Simon (Marquis de) Laplace, Jean-Baptiste le Rond d'Alembert (1717-1783) und Adrien-Marie Legendre zu einer gewissen Vollendung geführt worden. Aus dieser Zeit stammen auch die ersten himmelsmechanischen Lösungsansätze zur Bestimmung der Abplattung des Erdkörpers durch D'Alembert und Laplace. Newton wies darauf hin, dass der Einfluss von Sonne und Mond auf eine abgeplattete sphäroidische Erde zu einer Präzessionsbewegung der Rotationsachse der Erde führen müsse. Schon Hipparch hatte auf diesen Effekt der Erdrotationsachse aufmerksam gemacht und James Bradley hatte durch Beobachtungen 1729 auf den Effekt der Nutation hingewiesen. D'Alembert bewies 1749 diese Vermutung. Eine weitere Konsequenz der ellipsoidischen Gestalt der Erde ist ein bereits von Tobias Mayer 1767 beobachteter periodischer Einfluss der abgeplatteten Erde auf die Bahnbewegung des Mondes, und zwar sowohl auf die Länge wie auch auf die Breite des Mondumlaufes um die Erde. Laplace bewies 1802 diesen Zusammenhang in seinem Werk *Traité de Mécanique Céleste (Darstellung der Himmelsmechanik)*.

Den engen Zusammenhang zwischen der Schwere und der Geometrie der Erde hatte das Theorem von Clairaut aufgezeigt. Die frühen Gradmessungen zeigten überdies, dass die Schwerkraft einen Einfluss auf die Gradmessungen hat. Insbesondere die Vertikalwinkel-messungen zeigten einen Einfluss. Deshalb darf der Begriff der *geometrischen Methode* zur Bestimmung der Erdfigur nicht im engeren Sinne aufgefasst werden - natürlich wirkte

sich die Schwerkraft auf die Gradmessungen aus. Wegen der begrenzten Messgenauigkeit hatte man aber keine wirklich klare Vorstellung vom Einfluss der Schwere. Man beruhigte sich damit, dass diese Effekte nur sehr klein sein können, also die Bestimmung der Erdfigur in erster Linie ein geometrisches Problem sei. Diese Vorstellung hatte sich bis zum Ende des 18. Jahrhunderts zweifelsfrei gehalten. Dass die Lotrichtungen als physikalische Größen einen Einfluss auf die Gradmessungen haben, wurde zwar als selbstverständlich angesehen aber dennoch in der Praxis ignoriert - natürlich wegen fehlender geeigneter Messmethoden. Im 19. Jahrhundert führte die von Clairaut und MacLaurin eingeleitete mathematische Behandlung des Zusammenhangs zwischen Massenanziehung und Gleichgewichtsfiguren zur Entwicklung der Potentialtheorie. Diese Thematik wurde bereits von Joseph-Louis de Lagrange (1736-1813) behandelt, der Begriff aber erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts von Carl Friedrich Gauß und George Green (1793-1841) eingeführt, die hierzu wichtige Beiträge lieferten (Bialas, 1996).

Gauß leitete 1828 einen Wandel in der rein geometrischen Vorstellung ein, indem er die Erdfigur als diejenige Fläche definierte, die überall zur Lotrichtung senkrecht steht und von der die Flächen der ruhenden Weltmeere Teile sind. Bessel präziserte diese Definition 1837, indem er zusätzlich diese - heute als physikalisch definierte - Erdfigur auf den Kontinenten durch ein Netz kommunizierender Röhren veranschaulichte und gewissermaßen die Meeresoberfläche unter den Kontinenten fortsetzte. Schließlich bezeichnete Johann Benedikt Listing (1802-1882) im Jahre 1872 diese ausgewählte Niveauläche als *geoidische Fläche*. Die Diskussionen von Gauß, Bessel und Listing zeigten eindeutig die Bedeutung des Schwerfeldes für die Definition der physikalisch definierten Erdfigur. George Gabriel Stokes (1819-1903) formulierte im Jahre 1849 die Aufgabe, das Störpotential aus den gemessenen Schwerewerten auf dem Geoid zu bestimmen, das sich auf ein bekanntes Referenzellipsoid bezieht, dessen Oberfläche eine Niveauläche darstellt. Wegen des Fehlens von flächenhaft verfügbaren Schwerewerten konnte aber kein Geoid berechnet werden - vereinzelte Pendelmessungen reichten hierfür nicht aus.

Aus der Sicht der Bestimmung der Erdfigur als Ganzes stand die Berechnung eines globalen Referenzellipsoides deshalb notgedrungen im Vordergrund der Bemühungen. Umso mehr als die in dieser Zeit zahlreich entstandenen Referenzellipsoide als Grundlage für die im 19. Jahrhundert weltweit entstandenen Landesvermessungswerke zum Zweck der Schaffung von Festpunktfeldern benötigt wurden und in der Folge zur Kartenherstellung und zur Aufstellung der Kataster in den einzelnen Ländern notwendig geworden waren.

Den hier geschilderten Stand der Bestimmung der Erdfigur fand Friedrich Robert Helmert vor, als er erst 27jährig am 13. Januar 1870 eine Berufung als ordentlicher Lehrer für das Fachgebiet Praktische Geometrie und Geodäsie an der neu gegründeten Rheinisch-Westfälischen Polytechnischen Schule in Aachen, der späteren Technischen Hochschule Aachen, erhielt (Reigber, 2017). Man kann durchaus diesen Zeitpunkt als eine Sternstunde der Geodäsie bezeichnen. Bereits zwei Jahre nach seiner Berufung an die Polytechnische Schule in Aachen legte Helmert sein Werk über die Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate vor. In den Jahren 1880 und 1884 folgte sein zweibändiges Werk *Die Mathematischen und Physikalischen Theorien der Höheren Geodäsie*. Mit diesen Werken hat Helmert in einer großartigen Synthese die *Fundamentaltheorie der Geodäsie* vorgelegt und damit eine theoretische Grundlage der Höheren Geodäsie geschaffen, die Generationen von Geodäten geprägt hat (Bialas 1996). Die Bücher besaßen unverminderte Aktualität in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts und die in dieser Zeit entstandenen vorzüglichen anderen Werke gingen im Wesentlichen kaum darüber hinaus. Nicht umsonst

ist das zweibändige Standardwerk noch im Jahre 1962 nachgedruckt worden. Man kann ohne Übertreibung sagen, dass Helmert entscheidend zur Entwicklung der Geodäsie zu einer eigenen wissenschaftlichen Disziplin beigetragen hat. Helmert hat in seiner Zeit Stellung zu allen wichtigen theoretischen Fragen bezogen und hat mit seinen Forschungsarbeiten maßgeblich zur Etablierung der Geodäsie als eigenständige wissenschaftliche Disziplin beigetragen. Beispielsweise befasste sich Helmert intensiv mit der Isostasie und den Wechselbeziehungen zur Geologie und der Geophysik. Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang seine Arbeiten (zusammen mit Hecker) zur Erforschung der Elastizität der Erdkruste unter der Gezeitenwirkung von Sonne und Mond mit Hilfe des von Karl Friedrich Zöllner (1834-1882) entwickelten Horizontalpendels. Auch heute noch bedeutsam für die Bestimmung des Gravitationsfeldes sind die Beiträge von Helmert zur Theorie der Isostasie, insbesondere sein Vorschlag, die topographischen Massen auf einer Äquipotentialfläche des Schwerfeldes als einfache Schicht zu "kondensieren". Helmert widmete sich auch den himmelsmechanischen Methoden zur Bestimmung der Erdabplattung. Beispielsweise entwickelte er die Methode von Laplace und Peter Andreas Hansen (1795-1874) weiter, die Abplattung der Erde aus den periodischen Bewegungen des Mondes in Länge und Breite zu bestimmen. Er leitete für die Erdabplattung einen schon recht genauen Wert von 1:297,8 ab. Schließlich hat Helmert, basierend auf den Messungen der Mondparallaxe und von Schwerewerten, die durch Pendelbeobachtungen ermittelt wurden, Werte für die große Halbachse abgeleitet. Da die erzielten Werte von den aus Gradmessungen abgeleiteten Werten für die Halbachse allerdings zu stark abwichen, wurde diese Methode zur Bestimmung der großen Halbachse zunächst wieder verworfen. Man kann diese Verfahren durchaus auch als Vorläufer der Verfahren der Satellitengeodäsie bezeichnen.

Helmert war aber nicht nur ein visionärer Theoretiker, ihm waren praktische Fragen der Geodäsie gleichermaßen wichtig. Der Vorwurf, es sei Helmersts Bestreben gewesen, immer auf Formeln hinzuarbeiten, die für numerische Anwendungen unmittelbar geeignet seien, wodurch der Kern des Problems verschleiert werde (Hopfner, 1949), ist nur teilweise angebracht - denn es war geradezu sein Ziel, die Theorie angemessen für die Praxis nutzbar zu machen. Auch wenn sich seitdem eine schwindelerregende Entwicklung in unserem Erkenntnisprozess über das Erdsystem ergeben hat, so sind die zahlreichen auch heute noch gültigen wissenschaftlichen und praktischen Nachwirkungen Friedrich Robert Helmersts klar erkennbar. Viele Begriffe aus der Geodäsie tragen seinen Namen, wie beispielsweise die Helmert-Transformation, Helmert-Höhen, zahlreiche auch heute noch verwendete Begriffe aus der Ausgleichsrechnung (z.B. W.-D. Schuh, 2017).

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstanden wichtige neuartige Arbeiten zur Erdfigur und Geodäsie und eine große Zahl von Wissenschaftlern widmete sich dieser Aufgabe. Ein kongenialer Zeitgenosse Helmersts sticht dabei besonders heraus: der Mathematiker, Astronom und Geodät Ernst Heinrich Bruns (1848 - 1919). In seiner im Jahr 1878 veröffentlichten bedeutsamen Schrift *Die Figur der Erde* (Bruns, 1878) als Beitrag zur Europäischen Gradmessung bezweifelt Bruns den Sinn, weitere Referenzellipsoide zu berechnen, da die lückenhafte und unvollständige globale Verteilung der Gradmessungen und der nicht bekannte Einfluss der Schwere auf die astronomischen Beobachtungen zu keinem verbesserten Referenzellipsoid führen würde. Er bemerkte hierzu sarkastisch: "Jeder neue derartige Versuch ist im Grunde genommen kaum etwas anderes, als eine Rechenübung, nützlich für den, der sie ausübt". Bruns kritisierte auch die Definitionen von Gauß, Bessel und Listing und bemerkte, dass das so definierte Geoid keine eindeutige Fläche sei. Er wies insbesondere auf die Veränderungen der Meeresoberfläche hin und auf die Problematik der

Festlegung eines so definierten Geoides. Im Gegensatz hierzu verwendete Bruns den Begriff der mathematischen Figur der Erde im Sinne einer strengen potentialtheoretischen Definition. Er sah die Aufgabe der Geodäsie darin, die Potentialfunktion des Schwerefeldes auf der Erdoberfläche und im Außenraum zu bestimmen. Wenn das Schwerepotential als räumliche Funktion bekannt sei, so brauche man diese Funktion nur einer Konstanten gleichzusetzen, um auf diese Weise nicht nur das Geoid, sondern alle Niveaulächen zu erhalten. Er diskutierte in diesem Artikel umfassend die mathematischen Eigenschaften des Schwerepotentials und seiner Ableitungen. Auch seine Arbeiten über die Fortsetzung des Gravitationspotentials ins Innere der anziehenden Massen haben die Entwicklung der Potentialtheorie maßgeblich beeinflusst. Bruns kommt zu dem Ergebnis, dass es aus prinzipiellen und praktischen Gründen nicht möglich sei, einen geschlossenen analytischen Formelausdruck für das Geoid im gesamten Erdbereich, also auch innerhalb der Massen, zu finden. In dieser Schrift entwirft er das Konzept einer hypothesenfreien Bestimmung der Kräftefunktion des Schwerefeldes mit den damals zur Verfügung stehenden Beobachtungstypen. Bruns schlägt vor, das Geoid unter der Voraussetzung geeigneten Beobachtungsmaterials punktweise zu bestimmen und gegebenenfalls eine grafische Darstellung für das Geoid anzufertigen. Die Arbeiten Bruns über die hypothesenfreie Bestimmung der Erdfigur wurden von Helmert fortgesetzt und bedeutend erweitert (Ilgands/Münzel, 1994).

Bemerkenswert ist, dass Bruns und Helmert mit dem Konzept des Bruns'schen Polyeders die neuesten Entwicklungen der Geodäsie vorausgeahnt haben. Allerdings hatte man zum Zeitpunkt des Entstehens dieser Schrift keine konkreten Vorstellungen von den Abweichungen des Geoides von einem mittleren Erdellipsoid. Globale Abschätzungen durch Bruns, Helmert und Listing um das Jahr 1880 ergaben positive Abweichungen von 1000m auf den Kontinenten und negative 1000m auf den Ozeanen. Ein Grund für die Behauptung von Bruns, dass es unmöglich sei, durch Gradmessungen zuverlässige Dimensionen für das Erdellipsoid abzuleiten. Sorgfältige Abschätzungen von Bruns und Helmert unter Berücksichtigung isostatischer Ausgleichsmassen reduzierten diesen Wert schrittweise und Helmert gab im Jahre 1899 einen realistischen Wert für die Abweichungen von einem Rotationsellipsoid von ca. 100m an. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden die Mängel der Ellipsoidbestimmung, basierend ausschließlich auf den Gradmessungen, immer deutlicher, aber Schweremessungen standen damals nicht in hinreichend großer Zahl zur Verfügung. Hinzu kamen die diskutierten neuartigen Überlegungen zu einer umfassenderen auf dem Schwerefeld der Erde beruhenden Definition der Erdfigur, so dass der Wunsch entstand, beide Gesichtspunkte der Erdfigur, den geometrischen und den physikalischen Aspekt, zumindest teilweise, miteinander zu verbinden. Es standen zudem mit der Zeit immer mehr flächenüberdeckende Triangulationen zur Verfügung und die Messgenauigkeiten wurden zunehmend perfektioniert. Von besonderer Bedeutung hatte in diesem Zusammenhang das Wirken von Johann Jacob Baeyer (1794-1885), unter dessen Leitung die Mitteleuropäische Gradmessung gegründet wurde, die nach seinem Tode in Internationale Gradmessung umbenannt wurde. Im Jahre 1886 übernahm F. R. Helmert die Leitung der Internationalen Gradmessung, bevor er 1887 zum Direktor des Geodätischen Institutes in Berlin ernannt wurde (Reigber, 2017). Die zur Bestimmung eines Referenzellipsoides geeignete Methode wurde als Flächenmethode bezeichnet und bereits von Helmert im Jahre 1880 beschrieben (Helmert, 1880). Die flächenhafte Ausgleichung von Gradmessungen wurde erstmalig 1909 durch J. F. Hayford (1868-1925) mit Hilfe isostatischer Reduktionen auf das Gebiet der Vereinigten Staaten angewendet. Die Parameter dieses Ellipsoides wurden 1924 von der IUGG für die Definition des Internationalen Ellipsoides vorgeschlagen.

Natürlich haben sich in der Zeit seit Helmerts Tod im Jahre 1917 umwälzende Veränderungen ergeben. Der Zeitraum vom Beginn des 20. Jahrhunderts bis zum Start des ersten künstlichen Erdsatelliten 1957 kann auf dem Gebiet der Geodäsie durch drei wesentliche Entwicklungen gekennzeichnet werden:

1. Im messtechnischen Bereich ist es die Entwicklung von Gravimetern, die eine flächenhafte Erfassung der Schwere ermöglichten und die Entwicklung von Schweremess-Apparaten auf Schiffen. Beide Entwicklungen sind u.a. mit den Namen von Lucien J. B. LaCoste (1908-1955) und Felix Andries Vening-Meinesz (1887-1966) verbunden, ohne in diesem Überblick auf die vielen anderen Entwicklungen einzugehen.

2. Im theoretischen Bereich sind es die Verfeinerungen der Stokes'schen Randwertaufgabe durch Vening-Meinesz und die Arbeiten zur Isostasie (Vening-Meinesz, 1928), aber insbesondere die Entwicklungen zur Lösung der geodätischen Randwertaufgabe, vor allem diejenigen, die mit dem Namen von Mikhail Sergeevich Molodenskii (1909 –1991) verbunden sind (Molodenskii, M.S. et al., 1962).

3. Im anwendungsorientierten Bereich die Anlage von ausgedehnten Nivellement- und Schwerenetzen, soweit dies in den Wirren der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts möglich war. Dennoch war die Erfassung des Schwerfeldes auf die Kontinente beschränkt, und eine hinreichende Überdeckung mit Schweremessungen existierte zum Zeitpunkt des Starts des ersten Satelliten eigentlich nur in den hochentwickelten Ländern der Erde. Die Seegravimeter - Messungen in Profilen entlang von Schiffsrouten genügen weder hinsichtlich der räumlichen Überdeckung der Erde noch der Genauigkeit.

Literaturverzeichnis

- Bialas, V.: Erdgestalt, Kosmologie und Weltanschauung, Konrad Wittwer, Stuttgart 1982
- Bialas, V.: Klassische Geodäsie und Weltbild im 19. Jahrhundert, in: Beiträge zum J.J. Baeyer-Symposium, DGK, Reihe E, Heft 25, Verlag des Instituts für Angewandte Geodäsie, Frankfurt am Main, 1996
- Bruns, H.: Die Figur der Erde, Publ. Königl. Preuß. Geodätisches Institut, Berlin 1878
- Helmert, F.R. (1880): Die Mathematischen und Physikalischen Theorien der Höheren Geodäsie, Teil I, Zweite Auflage, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig (Nachdruck), 1962
- Helmert, F.R. (1884): Die Mathematischen und Physikalischen Theorien der Höheren Geodäsie, Teil II, Zweite Auflage, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig (Nachdruck), 1962
- Helmert, F.R.: Zur Bestimmung kleiner Flächenstücke des Geoids aus Lothabweichungen mit Rücksicht auf Lothkrümmung; 1. Mitteilung. Sitzungsber. der Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. zu Berlin (1900)
- Hopfner, F.: Grundlagen der Höheren Geodäsie, Springer Verlag, Wien, 1949
- Ilgauds, H.J., Münzel, G. : Heinrich Bruns, Felix Hausdorff und die Astronomie in Leipzig, Vorlesungen zum Gedenken an Felix Hausdorff, Hrsg.: E. Eichhorn, E.J. Thiele, Helderermann Verlag, Berlin 1994
- Molodenskii, M.S., Eremeev, V.F., Yurkina, M.L.: Methods for study of the External Gravitational Field and Figure of the Earth, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1962
- Perrier, G. : Kurze Geschichte der Geodäsie, Wie der Mensch die Erde gemessen und gewogen hat, Bamberger Verlagshaus Meisenbach & Co., Bamberg 1950
- Reigber, C.: Friedrich Robert Helmert 1843-1917, Ausschnitte aus seinem Lebensweg und seinem Internationalen Wirken; in W. Freedon, R. Rummel (Hrsg.), Handbuch der Geodäsie, Springer Reference Naturwissenschaften, DOI 10.1007/978-3-662-46900-2_90-1, 2017.
- Schuh, W.-D.: Über die Ausgleichung bei "Überschüssigen Messungen und zufälligen Beobachtungen" auf den Spuren von Friedrich Robert Helmert, in: Friedrich Robert Helmert, 13. Symposium zur Vermessungsgeschichte, Hrsg.: Erich Weiß, Förderkreis Vermessungstechnisches Museum e.V., 2017
- Vening Meinesz, F.A.: A formula expressing the deflection of the plumb-line in the gravity anomalies and some formulae for the gravity field and the gravity potential outside the geoid. Proc. Koninkl. Ned. Akad. Wetenschappen, v.31 (3), pp. 315-331, 1928

2. Gravitationsfeldbestimmung mittels Satelliten

Der Beginn einer neuen Epoche

Der Wunsch nach einem einheitlichen geodätischen Weltsystem, dem ein mittleres Erdellipsoid als allgemeine Rechenfläche zugrunde liegt, wurde ab der Mitte des 20. Jahrhunderts immer dringlicher geäußert. Hierzu wurde eine Reihe von Vorschlägen unterbreitet. Zu erwähnen sind insbesondere die Bemühungen von Heiskanen ein solches geodätisches Weltnetz zu errichten (Grossmann, W. 1966). Eine Möglichkeit boten die globalen Schweremessungen aber auch die Überbrückung der Ozeane beispielsweise mit Hilfe der auf dem Radarprinzip basierenden Verfahren Shoran und Hiran, die im Sinne einer Trilateration eine Verbindung der Triangulationsnetze auf den verschiedenen Kontinenten schaffen sollten. Diese Überlegungen, aber auch die Forschungen mit dem Schwerpunkt einer Kosmischen Geodäsie wurden durch den im Jahre 1957 erfolgten Start des ersten künstlichen Satelliten Sputnik I und der sich anschließenden rasant entwickelnden Satellitentechnologie überrollt (Sigl, 1961). Ermöglicht wurde dies insbesondere auch durch die etwa gleichzeitig einsetzende atemberaubende Entwicklung der Computer-Technologie.

Zunächst lag es nahe, basierend auf den Überlegungen zu einer Ballon-Triangulation bzw. einer Stellar-Triangulation, die künstlichen Erdsatelliten als Hochziele zu betrachten. Satelliten wurden dabei als hochfliegende Zielmarken betrachtet. Führt man die Beobachtungen von mehreren topozentrischen Stationen gleichzeitig aus, so kann ein dreidimensionales Polyeder bestimmt werden. Als Satelliten wurden sog. Ballonsatelliten verwendet oder Satelliten, die Lichtblitze aussenden konnten. Das Konzept griff damit im Prinzip den bereits 1878 von H. Bruns vorgeschlagenen Entwurf eines Polyeders auf (Bruns'sches Polyeder). Im Jahre 1964 wurde vom US-Coast and Geodetic Survey die Möglichkeit eines Satellitenweltnetzes vorgeschlagen, das aus 36 Stationen mit Seitenlängen zwischen 2000 bis 3000 Kilometern bestehen sollte. Die in allen Details ausgearbeiteten Verfahren der Triangulation, hinsichtlich Messung und Auswertung, wie auch die Methoden der geodätischen Astronomie zur Messung von Längen, Breiten und Azimuten verloren in den nachfolgenden Jahrzehnten mit der Entwicklung der dynamischen Satellitengeodäsie, die an die Stelle einer geometrischen Satellitengeodäsie trat, dramatisch an Bedeutung. Ein allgemein gesteigertes Interesse an einer genauen Kenntnis des Schwerfeldes setzte ein beträchtliches Potential an internationalen geodätischen Aktivitäten frei (Buchar, 1958, Mereson and King-Hele, 1958, Izsak, 1964). Die Entwicklung der Satellitengeodäsie in den Vereinigten Staaten ist in Hendriksen (1977) eindrucksvoll dargestellt.

Die in dieser Zeit angewandten klassischen Methoden der Gravitationsfeldbestimmung mit Hilfe von künstlichen Erdsatelliten beruhen darauf, dass der Erdsatellit als Testkörper im Gravitationsfeld der Erde betrachtet wird. Aus den Abweichungen der beobachteten Bahn von einer Referenzbahn, die sich ergeben würde, wenn sich der Satellit unter dem Einfluss eines bekannten Gravitationsfeldes (Referenz-Gravitationsfeld) antriebsfrei (freifallend) bewegen würde, können Korrekturen zu den Parametern des Referenzfeldes bestimmt werden. Dabei werden akkumulierte Bahnstörungen künstlicher Erdsatelliten mit verschiedenen Bahnneigungen und Flughöhen analysiert und globale Feldparameter, i.a. Potentialkoeffizienten einer Kugelfunktionsentwicklung des Gravitationsfeldes, berechnet (siehe z.B. Reigber 1969). Die hierzu notwendigen Beobachtungen wurden seit 1957 über einen Zeitraum von vielen Jahren gewonnen, da es für eine zuverlässige Bestimmung des Gravitationsfeldes unerlässlich ist, Satelliten mit unterschiedlichen Bahnneigungen und unter-

schiedlichen Flughöhen, also unterschiedlichen Umlaufzeiten zu verwenden. Diese Satellitenbahnstörungsverfahren ermöglichten die Bestimmung des langwelligen Anteils des Gravitationsfeldspektrums mit einer Auflösung bis zu einigen tausend Kilometern. Die sich gleichzeitig entwickelnde Satellitenaltimetrie und verbesserte terrestrische Schweredaten leisteten vor allem Beiträge zur Bestimmung des Gravitationsfeldes im mittel- und kurzwelligen Spektralbereich bis zu einer Auflösung von einigen hundert Kilometern.

Trotz der Fortschritte bei der Bestimmung des globalen Schwerefeldes weisen die auf diese Weise bestimmten Schwerefeldmodelle beträchtliche Differenzen auf, sogar in den Fällen, in denen nahezu dieselben Beobachtungen zugrunde gelegt worden waren. Manche Modelle waren für die Bahnrechnungen spezieller Satelliten zugeschnitten, andere wiederum repräsentierten besser die Schweredaten in bestimmten geographischen Bereichen. Ein allgemeingültiges Schwerefeldmodell, das allen Bedürfnissen Rechnung trägt, konnte mit den verfügbaren Beobachtungen und Beobachtungstypen nicht abgeleitet werden. Die Mängel der Satellitendaten waren die schwer modellierbaren Atmosphäreneinflüsse und die lückenhafte Beobachtung der Satelliten. Da die Satelliten wegen der Atmosphäreneinflüsse möglichst hoch fliegen müssen, weisen die Bahnen ein zu schwaches Gravitationsfeldsignal auf.

Man erkannte bereits Ende der Sechzigerjahre, dass eine entscheidende Verbesserung ein Datentyp bringen könnte, der den gesamten Spektralbereich des Gravitationsfeldes überdecken und in lückenloser geographischer Verteilung gewonnen werden könnte (Baker, 1969, Wolff, 1969). Der Satellit müsste als Sensor des Gravitationsfeldes in einer möglichst niedrigen Polbahn fliegen, einerseits, um ein ausgeprägtes Feldsignal zu erreichen, andererseits, um den gesamten Ortsbereich abzudecken. Die Beobachtungsregistrierung muss in einem solchen Fall zeitlich und örtlich lückenlos sein und damit weitgehend unabhängig sein von zahlreichen erdgebundenen Beobachtungsstationen.

Es gibt noch einen weiteren Gesichtspunkt, der bei der Bestimmung des Gravitationsfeldes der Erde berücksichtigt werden muss und der für die Auswahl alternativer Methoden zur Schwerefeldbestimmung von entscheidender Bedeutung ist. Am anschaulichsten kann dies gezeigt werden, wenn das Gravitationsfeld in seiner Spektraldarstellung, z. B. in einer Reihe nach Kugelfunktionen, betrachtet wird. Nach der Kaulaschen Daumenregel (Kaula, 1967) sind die Amplituden des langwelligen Anteils des Gravitationsfeldes viel größer als die des hochfrequenten Anteils. Mit zunehmender Entfernung eines Aufpunktes von der Erde werden die hochfrequenten Anteile des Gravitationsfeldes umso mehr gedämpft, je höher der Grad n des Spektralbereiches ist. In hinreichender Entfernung wird die Erde schließlich als radialsymmetrisch aufgebauter Massenkörper erscheinen - eine richtungsabhängige Struktur des Gravitationsfeldes ist nicht mehr feststellbar.

Diese Tatsachen scheinen zunächst generell Satellitenmethoden aus dem Kreis der potentiellen Verfahren zur Bestimmung der Feinstruktur des Gravitationsfeldes, also des hochfrequenten Bereiches, auszuschließen - trotz der bereits genannten unbestreitbaren Vorteile. Differenziert man die Kugelfunktionsentwicklung des Gravitationspotentials, beispielsweise in radialer Richtung, so werden die Potentialkoeffizienten mit dem Faktor $n + 1$ multipliziert und mit dem Faktor $(n+1)(n+2)$ im Falle einer zweiten Ableitung. Das bedeutet, dass bei höheren Ableitungen des Gravitationspotentials das ungünstige Verhältnis von hochfrequentem zu niederfrequentem Spektralanteil zunehmend vermindert wird - umso mehr, je höher der Grad der Ableitung ist (siehe z.B. Breakwell, 1979).

- Kaula W. (ed.) (1969). Williamstown report. The Terrestrial Environment, Solid-Earth and Ocean Physics: Application of Space and Astronomic Techniques, Report of a Study at Williamstown, Mass., to the NASA, Cambridge, Mass.
- NASA (1972). EOPAP: Earth and Ocean Physics Applications Program, Vol. II, Rationale and Program Plans.
- Lambeck K. (1973). Solid Earth and Ocean Physics in the Post-Apollo Programme, ESRO/PA/R109, August 1973
- Abalakin V., G. Balmino, K. Lambeck, H. Moritz, J.D. Mulholland, F. Tozer (1974). La Geodynamique Spatiale, Summer School Lecture Notes, Centre Nationale D'Etudes Spatiales, 20.8-13.9. 1974, Lannion, France.
- ESA (1978). SONG: Space Oceanography, Navigation and Geodynamics, ESA SP-137 (European Workshop, Schloss Ellmau, Germany, 16–21 January 1978).
- NRC, Committee on Geodesy (1979). Applications of a Dedicated Gravitational Satellite Mission, National Academy Press, Washington D.C., 53pp.
- NRC (1982). A strategy for Earth science from Space in the 1980's, part I: Solid Earth and oceans, National Academy Press, Washington D.C., 99pp.
- Wells W.C. (ed.) (1984). Spaceborne Gravity Gradiometers, NASA Conference Publication 2305, (Proceedings of a Workshop sponsored by the OSSA Geodynamics Branch, NASA-GSFC, 28-2 – 2-3, 1983).
- NASA (1984). Geopotential Research Mission (GRM), NASA Conference Publication 2390, (Conference at the University of Maryland, October 29–31, 1984).
- ESA (1986). SESAME: Solid Earth Science & Application Mission for Europe, ESA SP-1080 (ESA Special Workshop, Ising am Chiemsee, Germany, 4–6 March 1986).
- NASA (1987). Geophysical and Geodetic Requirements for Global Gravity Field Measurements 1987–2000, (Gravity Workshop, NASA-GSFC, Colorado Springs, February 1987).
- Trevi workshop (1989). Proc. of the Italian Workshop on the European Solid-Earth Mission ARISTOTELES, (Trevi, Italy, May 30–31, 1989).
- CIGAR I (1989). Study on precise gravity field determination methods and mission requirements, Final report, ESA Contract No. 7251/87/F/FL.
- Anderson A.J., R. Sabadini, S Tinti, S. Zerbini, J. Achache, A. Geiger, F. Arnet, E. Klingele (1990). Study of the geophysical impact of high resolution Earth potential fields information. ESA study.
- CIGAR II (1990). Study on precise gravity field determination methods and mission requirements, Phase 2 – final report, ESA Contract No. 8153/88/F/FL.
- Lambeck K (1990). Aristoteles: An ESA Mission to Study the Earth's Gravity Field, ESA Journal 14: 1–21.
- NASA (1991). Solid Earth Science in the 1990s, NASA TM 4256, Program Plan.
- ESA (1991). The Solid-Earth Mission ARISTOTELES, ESA SP-329 (International Workshop, Anacapri, Italy, 23–24 September 1991).
- CIGAR III (1993). Study of the gravity field determination using gradiometry and GPS, Phase 1/2 – final report, ESA Contract No. 10713/93/F/FL.
- Rummel R., P. Schwintzer (eds.) (1994). A Major STEP for Geodesy, report of the STEP Geodesy Working Group. CIGAR IV (1996). Study of advanced reduction methods for spaceborne gravimetry data, and of data combination with geophysical parameter, Final report, ESA Contract No. 152163.
- NRC, Committee on Earth Gravity from Space (1997). Satellite Gravity and the Geosphere, Contributions to the Study of the Solid Earth and Its Fluid Envelope, National Academy Press.
- European Space Agency (1999). Reports for mission selection – The Four Candidate Earth Explorer Core Missions, ESA SP-1233(1), ESA Publication Division, Noordwijk.

Abb. 1: Entwicklung der Satellitengravimetrie: wichtige Programmschritte und Workshops

Es gibt zwei Konzepte dieser neuartigen Varianten der Satellitengeodäsie, die beide auf demselben physikalischen Prinzip beruhen und die gewünschten Kriterien erfüllen: Satellite-to-Satellite-Tracking (SST) und Satellite Gravity Gradiometry (SGG). In beiden Alternativen wird die Relativbewegung von Testmassen unter dem Einfluss des Gravitationsfeldes gemessen, Relativentfernungen bzw. -geschwindigkeiten oder Relativbeschleunigungen. Im Falle von SST wird die Relativbewegung entlang der Verbindungslinie (line-of-sight) zweier oder auch mehrerer Satelliten gemessen. Das Konzept ist in einer Niedrig-niedrig-Variante (low-low) bzw. einer Hoch-niedrig-Variante (high-low) möglich. Im ersteren Fall haben die Satelliten etwa die gleiche Flughöhe (200km bis 500km). Beide Satelliten sind gleichermaßen sensitiv auf die Wirkungen des inhomogenen Gravitationsfeldes. Im letzteren Fall befindet sich nur ein Satellit in einer erdnahen Umlaufbahn, während die beobachtenden Satelliten sich in einer sehr hohen Umlaufbahn befinden, und nur von den sehr langwelligen Anteilen des Gravitationsfeldes beeinflusst werden. Hierfür kommen insbesondere die Satelliten der verschiedenen Satellitennavigationssysteme in Frage. Bei Verwendung mehrerer hoch fliegender Satelliten, kann man davon ausgehen, dass die Bahn des niedrig fliegenden Satelliten sehr genau in allen drei räumlichen Komponenten abgeleitet werden kann. Deshalb bietet sich hier, neben der Analyse der Relativbewegung in den Verbindungslinien des tief fliegenden Satelliten mit den hoch fliegenden Satelliten, auch die Analyse der drei räumlichen Komponenten der Bahn des tief fliegenden Satelliten an. Im Falle von SGG werden die Elemente des Gravitationstensors oder gewisser Linearkombinationen dieser Komponenten auf einer Messplattform simultan gemessen, abhängig davon wie die Sensitivitätsachsen des Gradiometers orientiert sind. Diese zukunftsweisenden Verfahren wurden bereits im Jahre 1969 von führenden Geowissenschaftlern auf Einladung der NASA bei einem Treffen in Williamstown diskutiert, bei dem die Kernpunkte eines zukünftigen Erdbeobachtungsprogrammes aus dem Raum entwickelt wurden (Kaula, 1969). Es folgten zahlreiche Missionsstudien und Konferenzen, die letzten Endes zur Realisierung der Satellitenmissionen CHAMP, GRACE und GOCE führten. Ein Überblick hierzu ist in der Abb. 1 gegeben.

Auswertemodelle für präzise beobachtete Bahnen bzw. Relativbahnen

Neben den Schwerefeldbestimmungsverfahren, die insbesondere die Akkumulationseffekte gewisser globaler Gravitationsfeldstrukturen nutzen, kann man Methoden anwenden, die auf einer mehr oder weniger punktuellen Abtastung des Gravitationsfeldes beruhen. Die ersteren Verfahren können mit dem Begriff *Bahnstörungsverfahren der Satellitengeodäsie* charakterisiert werden, während die letzteren Verfahren als *In-situ-Methoden der Satellitengeodäsie* bezeichnet werden können. Die Bahnstörungsverfahren nutzen die Tatsache, dass beispielsweise die zonalen Anteile des Gravitationsfeldes ganz bestimmte Bewegungsmuster der Satellitenbahnen bewirken. Man kann dabei *numerische Störungskonzepte* und *analytische Störungskonzepte* unterscheiden. Die *In-situ-Methoden der Satellitengeodäsie* umfassen Methoden, die erlauben, die Schwere längs kurzer Stücke der Satellitenbahn zu messen. Hierzu sind verschiedener Methoden denkbar, die im Wesentlichen auf den *verschiedenen Bilanzgleichungen längs der Satellitenbahn* beruhen.

Die klassischen Auswertemodelle der Satellitengeodäsie beruhen im Wesentlichen auf dem Konzept der im Folgenden näher beschriebenen *Bahnstörungsverfahren*. Der Grund liegt in der Art und Weise, wie insbesondere in den Anfangsjahren der Satellitengeodäsie Beobachtungen zu den künstlichen Erdsatelliten zur Verfügung standen. Mit den in den letzten Jahrzehnten realisierten Satellitenmissionen boten sich aber die *In-situ-Methoden* zur Messung und Auswertung an.

Numerisches Störungskonzept: Das numerische Störungskonzept kann durch einen definitiven Bahnbestimmungsprozess charakterisiert werden, wobei grundsätzlich die Lösung der Bewegungsgleichung durch Anfangswertdeterminierung oder durch Randwertdeterminierung möglich ist. Die unbekannt Parameter, Feldparameter des Gravitationsfeldes, weitere Bahnparameter und Korrekturen zu den Determinierungsgrößen der Bahnen werden, zusammen mit den Verbesserungen der Beobachtungsgrößen, in einem allgemeinen Ausgleichungsprozess nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt. Das ursprünglich nichtlineare System von Bestimmungsgleichungen muss linearisiert und zu einem gemischten Ausgleichungsmodell zusammengefasst werden. Die hierzu notwendigen partiellen Ableitungen werden numerisch durch Integration von Variationsgleichungen oder durch die Approximation der partiellen Differentiale durch partielle Differenzen gebildet. Es ist offensichtlich, dass diese Vorgehensweise hinreichend lange Satellitenbahnen aus zwei Gründen erfordert: Nachdem die globale Überdeckung der Bahn eines bestimmten Satelliten mit Beobachtungen nur sehr lückenhaft war, mussten möglichst lange Bahnen verwendet werden. Wegen der charakteristischen periodischen und säkularen Bewegungsanteile der Satelliten musste der Analysezeitraum hinreichend lang sein. Außerdem war eine Auswahl von Satelliten zu treffen, die einerseits ein möglichst breites Band an Bahnneigungen überdecken, andererseits unterschiedliche Bahnhöhen und damit unterschiedliche Umlaufzeiten aufwiesen. Nur so wurde es möglich, die verschiedenen Bahnstörungsmuster zu erfassen, die für die zuverlässige Bestimmung der Potentialkoeffizienten notwendig waren.

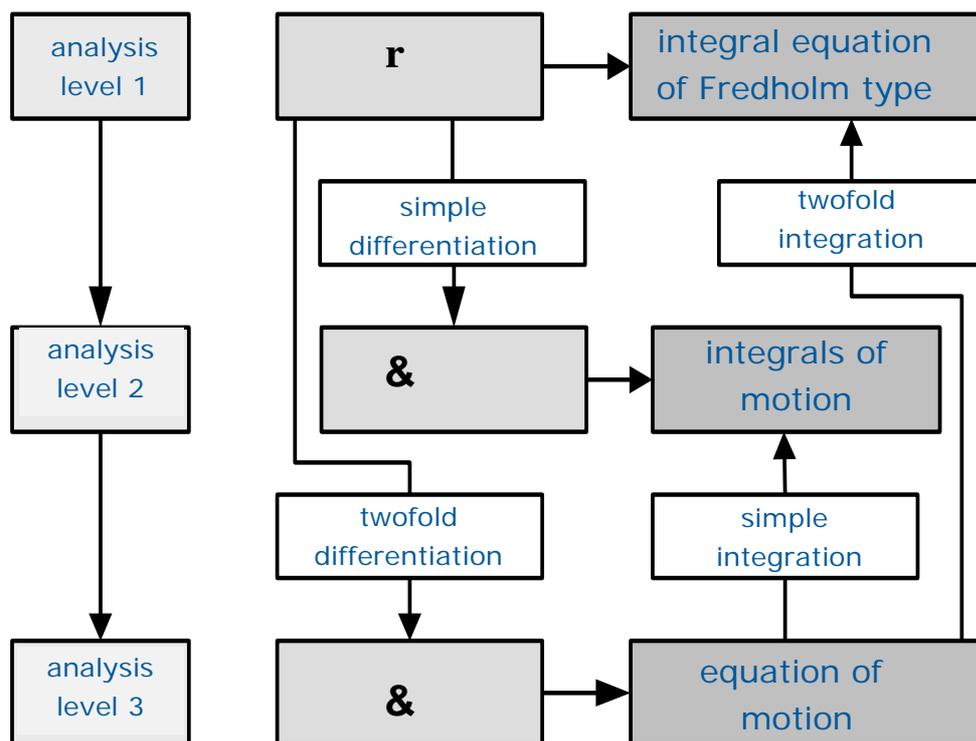


Abb. 2: Die drei Analysestufen der In-situ-Gravitationsfeldanalyse-Techniken für ein freifallendes Teilchen.

Analytisches Störungskonzept: Das analytische Störungskonzept erfordert die Formulierung einer analytischen Störungstheorie. Eine Möglichkeit stellen die expliziten Lagrange'schen Störungsgleichungen, ausgedrückt durch die Kepler'schen Bahnelemente dar, wobei die Störungsfunktion nach Kaula durch die Keplerelemente dargestellt wird. Man erhält auf diese Weise die Kaula'schen Störungsgleichungen. Der Vorteil besteht darin, dass säkulare, kurz- und langperiodische Bewegungsanteile direkt gewissen Gruppen von Potentialkoeffizienten zugeordnet werden können. Bei hinreichenden Bahnlängen können

die für diese spezifischen Störungen verantwortlichen Feldparameter aus den Beobachtungen bestimmt werden. Aber auch hier gelten dieselben Anforderungen wie im Falle der numerischen Störungskonzepte.

Die *In-situ-Methoden der Satellitengeodäsie* sind auf die Beobachtungscharakteristiken der in den letzten Jahren entwickelten Satellitenmissionen zugeschnitten. Dabei darf der Begriff der "In-situ-Methode" nicht zu eng gefasst werden. Der Begriff soll vielmehr so verstanden werden, dass für eine zuverlässige Parameterbestimmung nicht notwendigerweise lange Bögen notwendig sind und damit keine Akkumulationen von Bahnstörungen analysiert werden müssen. Diese Gruppe von Schwerefeldanalyse-Techniken bietet sich im Falle von Beobachtungsfunktionalen vom Typ der Satellite-to-Satellite-Tracking-Daten an wie auch vom Typ der Satelliten-Gravitations-Gradiometrie. Aber auch die Analyse kurzer Bahnabschnitte, bzw. die Energieerhaltungs-Relationen entlang einer genau beobachteten Bahn können diesen Beobachtungsmethoden zugeordnet werden. Natürlich ist diese Methodik nicht nur auf die Bahnen einzelner freifallender Teilchen anwendbar, sondern auch auf die Relativbewegung mehrerer freifallender Teilchen. Die Abb. 2 veranschaulicht die verschiedenen Bilanzierungsstufen der In-situ-Verfahren.

Die *Analysestufe 1* basiert auf der Analyse einer genau beobachteten Bahn, determiniert als Anfangs- oder Randwertaufgabe. Im letzteren Fall sind die präzise berechneten kinematischen Positionen, beispielsweise abgeleitet aus genauen GNSS-Beobachtungen, in Relation gesetzt zur spezifischen Kräftefunktion längs eines kurzen Bahnstücks über eine Fredholmsche Integralgleichung. Diese Vorgehensweise wurde sehr erfolgreich von Mayer-Gürr, et. al. (2005) angewendet. Diese Methode kann auch in spektraler Form angewendet werden (Iik et al. 2003).

Die *Analysestufe 2* erfordert die numerische Differentiation der Zeitreihen präzise berechneter kinematischer Positionen eines kurzen Bahnstücks auf der Beobachtungsseite der Bestimmungsgleichungen und der Integration der Kräftefunktion auf der Bahnmodellseite. Diese Vorgehensweise wurde im Sinne eines verallgemeinerten Jacobi-Integrals (z.B. Jekeli, 1999) angewendet oder im Sinne eines Energie-Integrals (z.B. Gerlach et al. 2003). Eine Systematik verschiedener translatorischer und rotatorischer Bilanzgleichungen wurde von Löcher (2006) zu Validierungszwecken und zur Bestimmung des Gravitationsfelds abgeleitet.

Die *Analysestufe 3* erfordert die zweifache numerische Differentiation eines Interpolationsansatzes für die Zeitreihe der kinematischen Positionen auf der Beobachtungsseite und die direkte Anwendung der Kräftefunktion auf der Bahnmodellseite. Dieser Ansatz basiert direkt auf der Newtonsche Bewegungsgleichung und wurde erfolgreich von Reubelt et al. (2003) und Ditmar et al. (2004) angewendet.

Die Auswertung von *Gradiometermessungen* beruht auf einer Verarbeitung der Gradienten des Gravitationsvektors entlang der Satellitenbahnen. Es können *regionale* und *globale Auswerteverfahren* unterschieden werden. Die letzteren Verfahren können im Sinne eines sog. *Space-wise-* oder eines *Time-wise-Approach* formuliert werden (z.B. Pail u.a., 2011).

Literaturverzeichnis

Baker, R.M.L. (1960): Orbit determination from range and range rate data, Semi-annual meeting of American Rocket Society, Los Angeles, 1960

- Breakwell, J.V. (1979): Satellite determination of short wavelength gravity variations, 79-151, Am. Astron. Soc., Provincetown Mass, 1979
- Buchar, E. (1958): Motion of the Nodal Line of the Second Russian Earth Satellite (1957 β) and Flattening of the Earth, *Nature* 182, 198-199, 1958
- Ditmar, P., van Eck van der Sluijs, A. A. (2004): A technique for modeling the Earth's gravity field on the basis of satellite accelerations, *Journal of Geodesy* (2004) 78: 12–33, DOI 10.1007/s00190-003-0362
- Gerlach C, Földvary L, Švehla D, Gruber T, Wermuth M, Sneeuw N, Frommknecht B, Oberndorfer H, Peters T, Rothacher M, Rummel R, Steigenberger P. (2003) A CHAMP-only gravity field model from kinematic orbits using the energy integral, *Geophysical Research Letters*, 30(20), 2037
- Grossmann, W. (1966): Die Geodäsie als Beispiel einer Approximationswissenschaft, *Österr. Zeitschr. f. Vermessungswesen*, Nr 2, 54. Jhrg. 1966
- Hendriksen, S.W. (ed.), 1977: National Geodetic Satellite Program, Part1 and 2, NASA Washington DC, 1977
- Ilk KH, Löcher A (2003) The Use of Energy Balance Relations for Validation of Gravity Field Models and Orbit Determination Results, F. Sansò (ed.) A Window on the Future of Geodesy, IUGG General Assembly 2003, Sapporo, Japan, International Association of Geodesy Symposia, Vol. 128, pp. 494-499, Springer
- Izsak, I.G. (1964): Tesseral harmonics of the geopotential and corrections to station coordinates, *J. Geophys. Res.* 69, (12), 2621-2631, 1964
- Jekeli Ch (1999): The determination of gravitational potential differences from satellite-to-satellite tracking, *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 7582, pp. 85-100, 1999
- Kaula, W.M. (ed.) (1969): The terrestrial environment - Solid Earth and Ocean Physics Application of Space and Astronomic Techniques, Report of a study at Williamstown/Mass. to NASA, Cambridge Mass. 1969
- Löcher A (2006) A scheme of integrals of motion for gravity field determination based on precisely observed low Earth satellites, Poster presented at the General Assembly 2006 of the EGU, April 02-07, Vienna, Austria, 2006
- G Merson, R.H., King-Hele, D.: Use of Artificial Satellites to Explore the Earth's Gravitational Field: Results from Sputnik 2 (1957), *Nature* 182, 640-641, 1958
- Mayer-Gürr T, Ilk KH, Eicker A., Feuchtinger M (2005): ITG-CHAMP01: A CHAMP Gravity Field Model from Short Kinematic Arcs of a One-Year Observation Period, *Journal of Geodesy* (2005) 78:462-480
- Pail, R., Bruinsma, S., Migliaccio, F., Förste, C., Goiginger, H., Schuh, W.-D., Höck, E., Reguzzoni, M., Brockmann, J.M., Abrikosov, O., Veicherts, M., Fecher, T., Mayrhofer, R., Krasbutter, I., Sansò, F., Tscherning, C.C. (2011) First GOCE gravity field models derived by three different Approaches, *J Geod* 85:819–843, DOI 10.1007/s00190-011-0467-x
- Reigber, C. (1969): Zur Bestimmung des Gravitationsfeldes der Erde aus Satellitenbeobachtungen; DGK, Reihe C, Heft 137, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, ISBN (Print) 3-7696-9197-0, 1969
- Reubelt T, Austen G, Grafarend EW (2003) Harmonic analysis of the Earth's gravitational field by means of semi-continuous ephemerides of a low Earth orbiting GPS-tracked satellite. Case study: CHAMP, *Journal of Geodesy* (2003) 77:257-278
- Wolff, M. (1969): Direct measurements of the Earth's gravitational potential using a satellite pair, *Journal of Geophysical Research*, Vol.e 74, Iss. 22, 5295–5300, 1969

3. Schwerefeldmissionen der neuen Generation

Am Beginn der letzten Dekade des 20. Jahrhunderts hatte die Bestimmung des Schwerefeldes der Erde - auf der Basis von klassischen Richtungs-, Entfernungs- und Dopplerbeobachtungen zu einer Vielzahl von passiven Satelliten im erdnahen Raum - ihre natürlichen Grenzen erreicht. Grund hierfür waren nicht die bis zu diesem Zeitpunkt für die Bestimmung fast ausschließlich benutzten numerischen und analytischen Bahnstörungsverfahren, sondern das sehr lückenhafte und nicht ausreichend genaue Beobachtungsmaterial, sowie die ungenügende Modellierung des Störeinflusses der Restatmosphäre auf die Satelliten-

bewegung. Genauigkeit und Auflösung der räumlichen Strukturen und erwartbarer zeitlicher Änderungen des Gravitationsfeldes hinkten zu diesem Zeitpunkt den Resultaten zur Kinematik des Erdkörpers um Größenordnungen hinterher.

Wie beschrieben, war auf dieses Defizit und die notwendige Realisierung von aktiven Satelliten mit Präzisionssensoren für die gegenseitige Satellitenbeobachtung und die Satellitengradiometrie seit Anfang der 1970er Jahre in unzähligen Empfehlungen immer wieder hingewiesen worden. Bis Anfang 1990 ergab sich jedoch keine Realisierungschance für eine der im vorigen Abschnitt aufgeführten wissenschaftlich-technischen Missionskonzepte durch NASA, ESA oder eine sonstige internationale Raumfahrtagentur. Erst 1992 leitete die NASA mit dem ersten flugfähigen GPS Empfänger der ROGUE Klasse des Jet Propulsion Laboratory (JPL) an Bord des Altimetersatelliten TOPEX/POSEIDON [Yunk et al., 1994] die Ära der hoch-niedrig Satellitenbeobachtung mit GPS Satellitensignalen ein. Auch wenn die Zeit genauerer GPS Bahnprodukte erst Mitte der 90iger Jahre mit dem Aufbau des von der geodätischen Forschung betriebenen zivilen GPS Dienstes IGS einsetzte [Neilan et al., 2000], so bedeutete dieser erfolgreiche Erstflug eines 2-Frequenz-GPS - Empfängers den Einstieg in eine neue Ära der Satellitenbahnbestimmung niedrigfliegender Satelliten, der so richtungsweisend für den Erfolg der nachfolgend beschriebenen Schwerefeldmissionen der neuen Generation werden sollte. Ähnlich bedeutungsvoll für die weitere Entwicklung war der Erstflug des französischen GRADIO/ASTRE Beschleunigungsmessers auf der STS78- Shuttle Mission im Juni 1996 [Touboul et al., 1996].

Die CHAMP Mission

Ein Produkt der Wiedervereinigungsaktivitäten

Beobachtung und Modellierung von globalem Gravitations- und Magnetfeld der Erde spielten im Zukunftsprogramm der im Zuge der Wiedervereinigung 1992 neuentstandenen Großforschungseinrichtung GFZ Potsdam eine bedeutende Rolle. Nachdem Anfang 1994 die damalige Deutsche Agentur für Raumfahrt-Angelegenheiten (DARA) die Initiative zur Finanzierung eines Leitprojektes für die Raumfahrtindustrie in den ostdeutschen Bundesländern ergriffen hatte, bot sich für das GFZ die einmalige Gelegenheit, im vorgesehenen Wettbewerbsverfahren eine Geopotentialmission mit modernster Beobachtungstechnologie vorzuschlagen. Gemeinsam mit dem DLR und einem Konsortium von ursprünglich 12 Industriefirmen aus den ostdeutschen Bundesländern wurde 1994 die Machbarkeit einer solchen Mission untersucht und 1995/1996 als unter Führung des GFZ zu realisierende Kleinsatellitenmission von der DARA ausgewählt. Vorgaben des Kleinsatellitenansatzes waren: schnelle Realisierung, geringe Kosten, anspruchsvolle Missionsziele. Wegen der zum damaligen Zeitpunkt einmaligen Kombination von neuartigen Messgeräten zur gleichzeitigen Erfassung von Schwere- und Magnetfeld, sowie zur Sondierung von Atmosphäre und Ionosphäre, bekam die Mission die Kurzbezeichnung CHAMP (CHALLENGING Minisatellite Payload). Gestartet im Jahr 2000 hat CHAMP die 1999 von der IUGG ausgerufene Dekade der Geopotentiale termingerecht eingeläutet und über den gesamten Dekadenzeitraum die Erdsystemforschung mit einem einzigartigen und kontinuierlichen geophysikalischen Datensatz versorgt.

CHAMP - Missionsziele, Satellitendesign und Messprinzipien

Primäres Missionsziel der CHAMP Mission war eine gegenüber bisherigen Ergebnissen deutlich verbesserte Bestimmung der langwelligen Anteile (> 800 km) sowohl des Schwerefeld-

des als auch des geomagnetischen Feldes der Erde, mit Hilfe der innovativen Instrumentierung an Bord des Satelliten. Sekundäres Missionsziel war der Einsatz der bordseitigen GPS Instrumentierung zur erstmaligen operationellen Nutzung der Radio-Okkultationstechnik für die Fernerkundung von Atmosphäre und Ionosphäre.

Um den Bedingungen des vorgegebenen Kleinsatellitenansatzes Rechnung zu tragen, wurden Projektstruktur, Dokumentationstiefe und die dem Projektablauf entsprechenden Arbeitsorte so gewählt, dass ein zeit- und kosteneffizienter Ablauf der Projektarbeiten möglich wurde. Die Arbeiten zur Systemauslegung wurden in Potsdam gemeinsam von GFZ - und Industrieteam (IT) - Mitarbeitern, mit Zuarbeiten von den Komponenten- und Instrumentenherstellern und dem DLR, durchgeführt. Diese Zusammenarbeit an einem Arbeitsort ermöglichte einen unbürokratischen und schnellen Informationsaustausch, hohe Flexibilität und kurze Reaktionszeiten bei allen Entscheidungen zum Satellitendesign. Bei der Entwicklung der CHAMP Mission musste darauf geachtet werden, eine optimale Anpassung des Satellitendesigns an die zwei primären Missionsziele, gleichzeitige Ausmessung von Schwere- und Magnetfeld, und das sekundäre Missionsziel, Sondierung der Hochatmosphäre, zu erreichen. Konstruktive Treiber waren in diesem Zusammenhang eine gut definierte und konstante Schwerpunktlage, eine drei-Achsen stabilisierte Lageregelung mit nur vernachlässigbaren Querschleunigungen, ein langer Ausleger für magnetisch saubere Messungen und aerodynamische Verhältnisse, die eine lange Einsatzdauer in geringer Flughöhe gewährleisten sollten. Um das aerodynamische Verhalten und die Magnetfeldbeobachtungsumgebung zu optimieren, wurde der Satellit als relativ schwerer trapezförmiger Körper mit den Abmessungen 430x75x162 cm³ (l/h/w) mit einem 404 cm langen ausklappbaren Ausleger in Flugrichtung gebaut (siehe Abb.3). Der Satellit wog, inklusive zweier Tanks mit 34 kg Kaltgas für Lagekontrolle und Bahnmanöver, zu Beginn der Mission 522 kg. Der Strombedarf von im Mittel etwa 120 W wurde über 7 m² Solarzellenfläche und eine 16 Ah-NiH₂- Batterie geliefert.

Die erdorientierte Ausrichtung des Satelliten wurde durch drei Magnet-Torquer und 12 Kaltgas- Steuerdüsen sichergestellt. Die Orientierung des Satelliten im Weltraum wurde mit Hilfe von Sternsensoren am Satellitenkörper und am Ausleger ermittelt. Gefertigt und kalibriert wurden diese Sternsensoren von der Dänischen Technischen Universität (DTU).

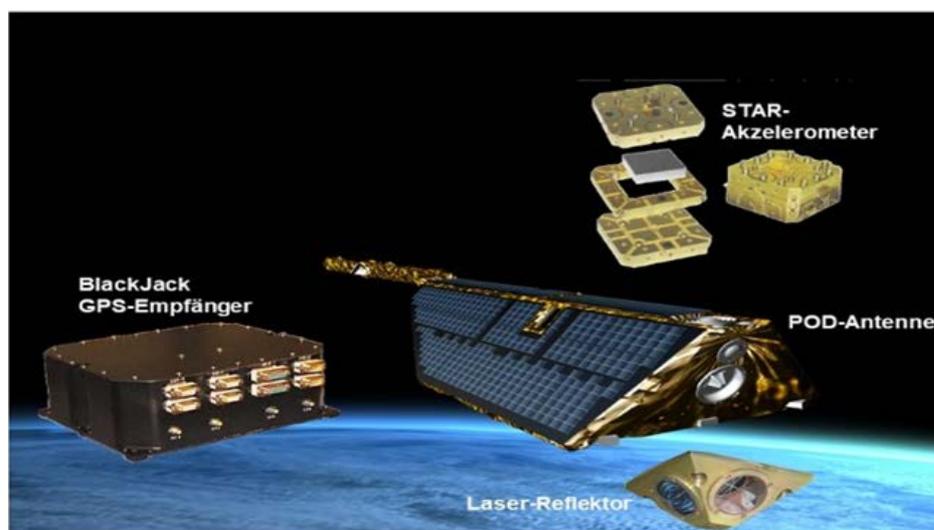


Abb. 3: CHAMP
Schwerefeld
Messsysteme

Um den vorgegebenen Kostenrahmen des Kleinsatellitenprojektes einhalten zu können, wurden kompetente und interessierte Partner für Gerätebeistellungen gesucht und gefunden. Die genaue Position, Geschwindigkeit und einen einheitlichen Zeitbezug für alle Geräte

an Bord lieferte ein vom NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) bereitgestellter zwei-Frequenz-GPS-Empfänger der neu entwickelten BlackJack- Serie. Der elektrostatische Beschleunigungsmesser STAR, hergestellt von der französischen Firma ONERA und beigestellt vom Centre National d'Études Spatial (CNES), hatte seinen Erstflug auf CHAMP. Er erfüllte die spezifizierte Auflösung von $< 3 \times 10^{-9} \text{ m/s}^2$ für die beiden hochempfindlichen Achsen [Förste et al, 2005] und lieferte ab Herbst 2000 wertvolle Informationen über die Beschleunigungen der nicht-gravitativen Oberflächenkräfte, eine Information, die für die genaue Rückgewinnung des Gravitationsfeldes und die Entwicklung von Luftdichtemodellen von großer Bedeutung ist. Das vom US Air Force Research Laboratory AFRL entwickelte und beigestellte Ionen-Driftmeter DIDM, eine Langmuir-Sonde, sowie die Fluxgate- und Overhauser-Magnetometer auf dem Ausleger, waren die Hauptgeräte für die elektrischen und magnetischen Messungen auf CHAMP. Ein vom GFZ hergestellter Laser-Retro-Reflektor an der Unterseite des Satelliten komplettierte die Instrumentenausstattung. Ein hochautonomes Steuerungs- und Datenverarbeitungssystem garantierte einen sicheren Betrieb über längere Zeiträume (bis zu 12 h) ohne Kontakt zu Bodenstationen. Die Daten wurden in einem Massenspeicher mit einer Kapazität von 1,2 Gigabit gespeichert und bei Überflügen an die Empfangsstationen in Weilheim, Neustrelitz und Ny Alesund gesendet.

Die Vorintegration der mechanischen CHAMP-Struktur wurde bei der Firma Dornier in Friedrichshafen (heute AIRBUS/EADS), und die des Kaltgassystems bei dem Raumfahrtunternehmen RST in Rostock, vorgenommen. Die elektrische Integration und Systemtests erfolgten in Jena bei der Firma Jena Optronik, und die Umwelttests wurden schließlich bei der IABG in Ottobrunn durchgeführt. Nach dreieinhalbjähriger Bau- und Testzeit stand CHAMP im Mai 2000 zum Transport an den Startort bereit.

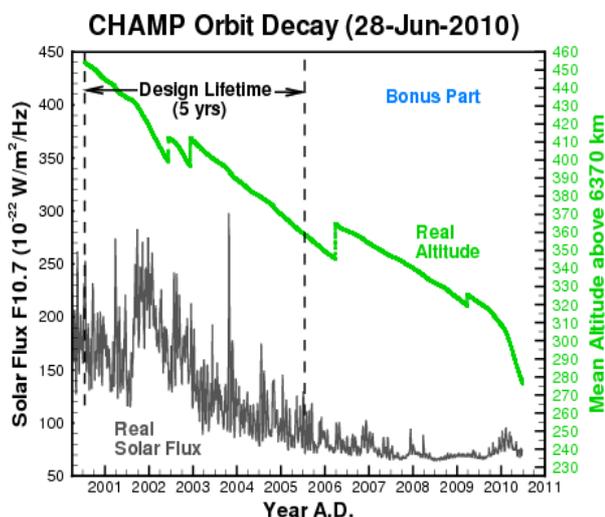


Abb. 4: CHAMP Bahnhöhen Veränderung 7/2000 - 7/2010

Start, Missionsverlauf und Datenbereitstellung

Zuständig für die Bereitstellung der Startrakete und die Vorbereitungen am Startplatz war die Firma COSMOS International, ein Joint Venture der Firma OHB Systems GmbH und der russischen POLYOT Production Cooperation. Nach intensiven Startvorbereitungen auf dem Kosmodrom Plesetsk, dem größten zentralrussischen Raketenstartplatz 800 km nördlich von Moskau, wurde CHAMP am 15. Juli 2000 auf einer COSMOS-Trägerrakete zielgenau in seine polnahe ($i=87,3^\circ$), und nahezu kreisförmige ($e=0,004$) Umlaufbahn in 454 km Höhe eingeschossen. Die zwischen Mitte 2001 und Ende 2002 stark angestiegene Sonnenaktivität und die damit einhergehende verstärkte Abbremsung des Satelliten, machten mehrere Bahnmanöver erforderlich. Mit einer Abfolge von Düsenfeuerungen im Apogäum wurde

jeweils im Juni und Dezember 2002 die CHAMP-Bahn um etwa 13 und 16 km angehoben. Durch diese Korrekturen wurde die anfänglich leicht elliptische CHAMP-Bahn in eine fast perfekte Kreisbahn ($e=0,0$) überführt. Zur Maximierung der Missionsdauer erfolgten im März 2006 und im März 2009 zwei weitere Bahnmanöver (s. Abb.4). CHAMP hatte am 10. Jahrestag seines Starts eine Flughöhe von 260 km erreicht und tauchte am 19. September 2010 in die Erdatmosphäre ein und verglühte.

Für eine erfolgreiche Satellitenmission ist neben einem perfekt funktionierenden Satelliten im Weltraum auch eine komplexe, gut funktionierende Infrastruktur auf der Erde notwendig. Dieses sogenannte CHAMP- Bodensegment wurde von Anfang an so konzipiert, dass neben den Missionskontrolldaten möglichst alle Sensordaten in unterschiedlichen Bearbeitungsstufen den wissenschaftlichen Nutzern über einen langen Missionszeitraum schnellstmöglich zur Verfügung gestellt werden konnten. Diese Bodeninfrastruktur setzte sich aus Komponenten zusammen, die einmal die operationelle Kontrolle der ordnungsgemäßen Funktion von CHAMP und den Datenfluss vom Satelliten zu Bodenstationen sicherte. Hinzu kamen Komponenten, mit denen die Verarbeitung der Satellitensensordaten zu wissenschaftlichen Datenprodukten und deren Archivierung und Verteilung an die Nutzer sichergestellt werden konnte. Für die Arbeiten des Missionsbetriebssystems MOS war das Deutsche Raumfahrt- Kontrollzentrum (GSOC) des DLR in Oberpfaffenhofen zuständig. Vom GFZ wurde ein spezielles Wissenschaftsdatensystem entwickelt und während der Mission kontinuierlich und weitestgehend automatisch betrieben. Mit diesem System wurden die von CHAMP gesendeten Sensorrohdaten im Datenbetriebssystem SOS entschlüsselt und gemeinsam mit Daten von den Laser- und GPS- Bodenstationsnetzen in kalibrierte physikalische Messdaten umgewandelt. Diese bildeten die Basis für die Ableitung der wissenschaftlichen Standardprodukte unterschiedlicher Bearbeitungsstufen für das Schwerefeld, Magnetfeld und die Atmosphäre im Verarbeitungssystem SDS. Die Archivierung/Verwaltung und die effiziente Bereitstellung der Messdaten und Datenprodukte für alle Nutzer sicherte ein speziell für die CHAMP-Mission entwickeltes Informations- und Datenmanagement-System ISDC.

Besondere Merkmale und Ergebnisse der CHAMP Mission für die Schwerefeldmodellierung

Insgesamt war CHAMP mit sieben verschiedenen wissenschaftlichen Geräten ausgestattet, deren Daten ab Mai 2001 im operationellen Modus verarbeitet und von Wissenschaftlergruppen weltweit ausgewertet wurden [Reigber et al., 2001]. Erste Ergebnisse dieser Gruppen zur Modellierung von Schwere- und Magnetfeld sowie zur Sondierung von Atmosphäre/Ionosphäre sind in mehreren Tagungsbänden [Reigber et al. 2005, Flury et al. 2006] zusammengeführt. Hier soll nur kurz die Bedeutung der CHAMP Mission für die Schwerefeldbestimmung näher beleuchtet werden.

Hervorzuheben sind vorab einige Merkmale, die die CHAMP Mission deutlich abgehoben haben von allen Vorgängermissionen und sie zum entscheidenden Wegbereiter für nachfolgende SST-Missionen gemacht haben.

- Mit CHAMP wurden erstmals für eine geowissenschaftliche Langzeitmission in niedriger Umlaufbahn nahezu kontinuierlich (ca. 98 Prozent) operationelle und wissenschaftliche Daten im Sekundentakt an Bord gewonnen und mit einem für alle Messwerte einheitlichen und genauen (>1 ms) Zeitstempel versehen.

- Diese Informationen wurden in einen erstmals in Deutschland für eine geowissenschaftliche Mission realisierten Verbund von Bodensystem-Komponenten eingespeist, zur laufenden Kontrolle der Satellitenfunktionen und der laufenden Überwachung, Verarbeitung und Bereitstellung von Instrumentendaten und wissenschaftlichen Referenzprodukten an interessierte Forschergruppen. Die verschiedenen Komponenten waren entwickelt und über den gesamten Missionszeitraum betrieben worden von (1) dem DLR Raumflugzentrum GSOC in Oberpfaffenhofen für den Satellitenbetrieb, (2) dem GFZ Potsdam für das Wissenschaftsdaten-Verarbeitungs-, Archivierungs- und Verteilungssystem, und (3) von der DLR/DFD Außenstelle Neustrelitz für die Rohdatenarchivierung und Aufbereitung.
- Neben der DLR Empfangs- und Kommandierungsstation Weilheim und der DLR/DFD Empfangsstation Neustrelitz war für die CHAMP Mission speziell der Aufbau und Fernbetrieb einer Datenempfangsstation auf Spitzbergen und eines global verteilten Netzes von Nahezu - Echtzeit GPS Bodenstationen vom GFZ vorangetrieben worden
- Die mit der CHAMP Mission bereitgestellte mehrjährige kontinuierliche Datenfolge von dem GPS BlackJack Bordempfänger und STAR Akzelerometer im Sekundentakt hat die laufende Bestimmung von genauen kinematischen Satellitenpositionen und die Freilegung des rein gravitativen Signals in der Satellitenbahn ermöglicht, und damit erstmals die Anwendung der im vorigen Abschnitt angeführten In-situ-Methoden.

Dies war der Ausgangspunkt dafür, dass sich neben dem operationellen CHAMP Auswerteteam am GFZ schnell eine große Zahl neuer Auswertegruppen an Universitäten und Forschungseinrichtungen im In- und Ausland etablierten und im Rahmen spezieller Nutzungsprogramme diese neuesten Verfahren der Bahn- und Feldparameterbestimmung zur Ausführung bringen konnten. Schon die ersten Betriebsmonate des CHAMP Satelliten bestätigten in beeindruckender Weise, dass wie geplant, nahezu fortlaufend genaue GPS-CHAMP Intersatelliten-Messungen und STAR Akzelerometer-Messungen aus niedriger, polnaher Umlaufbahn gewonnen werden konnten. Bereits aus diesen ersten Monatsdaten konnte erstmalig ein nur auf Daten eines einzigen Satelliten basierendes Schwerefeld berechnet werden, das um den Faktor 10 gesteigerte Verbesserungen in den Längstwellenanteilen gegenüber Vor-CHAMP Modellen aufwies [Reigber et al., 2002]. Mehrjährige CHAMP-Datenreihen, verarbeitet nach dem klassischen Verfahren der differentiellen Bahn- und Feldparameterkorrektur, lieferten weiter verbesserte Modelle des statischen Schwerefeldes bis zu räumlichen Auflösungen von ca. 500 km [Flechtner et al., 2010].

Die mit der CHAMP Mission eröffnete Möglichkeit der Berechnung genauer 3D Satellitenpositionen entlang der Bahn schlug sich schnell nieder in einer breiten Umsetzung bisher nicht einsetzbarer In-situ-Methoden. Die mit diesen Verfahren erzielten Ergebnisse lieferten zu einem guten Teil vergleichbare Ergebnisse zu den mit einem höheren Rechenaufwand erzielten Ergebnissen nach dem klassischen numerischen Bahnstörungsverfahren. Zu nennen sind hier insbesondere die auf der Energie-Integral-Methode [Földary et al, 2005], der Beschleunigungs-Methode [Reubelt et al., 2005] und auf der generalisierten Fourieranalyse kurzer CHAMP-Bahnbögen [Iik et al., 2005] basierenden Lösungen. Insbesondere mit letztgenanntem Verfahren der Feldparameterbestimmung auf Basis der Bahnbestimmung als Randwertaufgabe konnten sehr gute Ergebnisse sowohl für das globale Schwerefeld, als auch für regionale Teillösungen, gewonnen werden [Mayer-Gürr et al., 2005].

Mit den schon im ersten Jahr erzielten Ergebnissen für die Potentialfelder der Erde und die Sondierung der Hochatmosphäre wurde die Bedeutung der CHAMP als Pilotmission für eine

Reihe von in Vorbereitung befindlicher Nachfolgesatelliten deutlich (Abb. 5). Die Missionen GRACE (NASA/DLR, 2002) und SWARM (ESA, 2011) sind bereifte Beispiele dafür, aber auch -, unter dem Gesichtspunkt der Bahn- und Basislinienbestimmung - die Fernerkundungsmissionen TerraSAR-X (DLR, 2007) und Tandem-X (DLR, 2010).

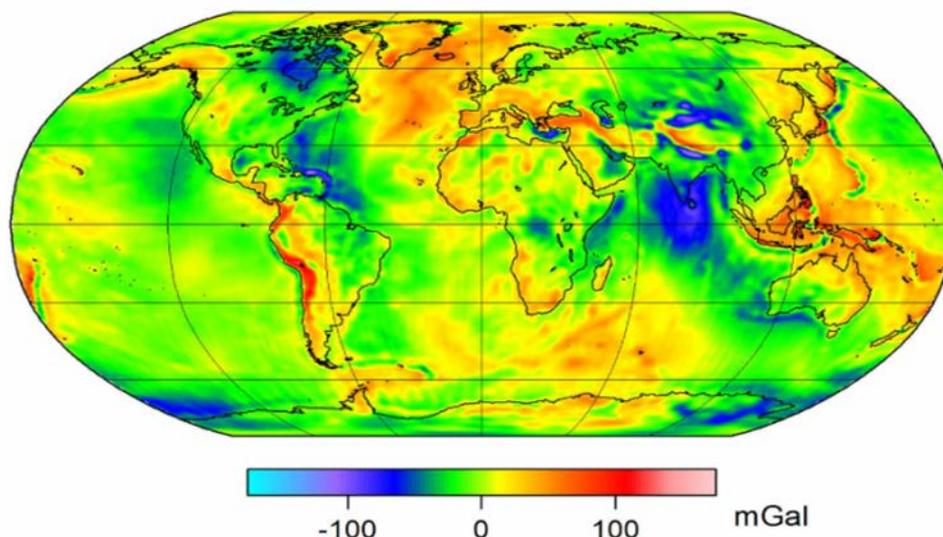


Abb. 5: Schwerefeldmodell aus 860 Tagen CHAMP Daten

Literaturverzeichnis

Yunck T, Bertiger W, Wu S, Bar-Sever Y, Christensen E, Haines B, Lichten S, Muellerschoen R, Vigue Y, Willis P: First assessment of GPS-based reduced dynamic orbit determination on TOPEX/POSEIDON. *Geophys Res Letters* 21, 541-544, 1994

Neilan R, Moore A, Springer T, Kouba J, Reigber Ch: International GPS Service 2000, Life without SA, ION 2000, 438-446, 2000

Touboul P, Foulon B, Willemetot E : Electrostatic space accelerometers for present and future missions. 47th International Astronautical Congress Beijing, IAF-96 -J.1.02, 1996.

Reigber, C.; Lühr, H.; Schwintzer, P.: Announcement of Opportunity for CHAMP, GFZ Project Document CH-GFZ-AO-001, GeoForschungsZentrum Potsdam. 2001.

Reigber, Ch.; Balmino, G.; Schwintzer, P.; Biancale, R.; Bode, A.; Lemoine, J.-M.; König, R.; Loyer, S.; Neumaier, H.; Marty, J.-Ch.; Barthelmes, F.; Perosanz, F.; Zhu, S.Y.: A high-quality global gravity field model from CHAMP GPS tracking data and accelerometry (EIGEN-1S), *Geophys. Research Letter*, 29, No. 14, 10.1029/2002GL015064, 37-1 – 37-4, 2002.

Reigber C.; Lühr H., Schwintzer P., Wickert J. (Eds.): *Earth Observation with CHAMP, Results from Three Years in Orbit*, ISBN 3-540-22804-7 Springer-Verlag, 2005.

Flury J.; Rummel R., Reigber C., Rothacher M., Boedecker G., Schreiber U., (Eds.): *Observation of the Earth System from Space*, ISBN 3-540-29520-8 Springer-Verlag, 2006.

Reubelt T, Austen G, Grafarend EW (2003) Harmonic analysis of the Earth's gravitational field by means of semi-continuous ephemerides of a low Earth orbiting GPS-tracked satellite. Case study: CHAMP, *Journal of Geodesy* (2003) 77:257-278

Ilk, K.H., Mayer-Gürr, T., Feuchtinger, M.: Gravity recovery by analysis of short arcs of CHAMP In: Reigber, C., Lühr, H., Schwintzer, P., Wickert, J. (Eds.), *Earth observation with CHAMP: Results from Three Years in Orbit*, Springer, 127-132, 2005.

Mayer-Gürr T, Ilk KH, Eicker A., Feuchtinger M (2005): ITG-CHAMP01: A CHAMP Gravity Field Model from Short Kinematical Arcs of a One-Year Observation Period, *Journal of Geodesy* 78:462-480, 2005

Földvary, L., Svehla, D., Gerlach, Ch., Wermuth, M., Gruber, Th., Rummel, R., Rothacher, M., Frommknecht, B., Peters, T., Steigenberger, P.: Gravity Model TUM-2Sp Based on the Energy Balance Approach and Kinematic CHAMP Orbits - In: Reigber, C., Lühr, H., Schwintzer, P., Wickert, J. (Eds.), Earth observation with CHAMP: Results from Three Years in Orbit, Springer, 13-18, 2005.

Flechtner, F., Dahle, Ch., Neumayer, K. H., König, R., Förste, Ch., The Release 04 CHAMP and GRACE EIGEN Gravity Field Models; Springer, p. 41-58, doi: 10.1007/978-3-642-10228-8_4, Berlin/Heidelberg, 2010

Die GRACE Zwillingssmission

Wie es dazu kam

Mit der im Jahr 2000 gestarteten CHAMP-Mission war zum ersten Mal ein in niedriger Umlaufbahn und mit einem Präzisionsbeschleunigungsmesser ausgerüsteter Satellit kontinuierlich von bis zu zehn - in hoher Bahn umlaufenden - GPS-Satelliten gleichzeitig verfolgt, und damit der Durchbruch bei der Bestimmung der großräumigen Strukturen des statischen Schwerfeldes der Erde mit unterschiedlichsten Auswertemethoden erreicht worden (Löcher, 2010).

Bereits Ende der 1960er Jahre war in einer Publikation von Wolff (1969) und in der richtungsweisenden Williamstown-Konferenz (Kaula, 1969) herausgestellt worden, dass das Intersatelliten-Signal zwischen einem Satellitenpaar, das die Erde in der gleichen Umlaufbahnebene umkreist, signifikante Informationen über die mittleren bis kürzeren Wellenlängenanteile des Gravitationsfeldes der Erde enthält. Dieses Missionskonzept wurde für das frühe GRAVSAT-Experiment von US-Wissenschaftlern (Fischell und Pisacane, 1978) und für die SLALOM-Mission in Europa (Reigber, 1978) übernommen. Diese beiden Experimentvorschläge sowie die nachfolgende US Geopotential Research Mission GRM (Keating et al., 1986) und die europäischen POPSAT (Reigber et al., 1987), BRIDGE (Balmino et al., 1995) und ARISTOTELES (ESA, 1989) Missionsstudien konnten aber weder in eines der Förderprogramme der ESA noch der NASA erfolgreich aufgenommen werden.

Anlässlich der IUGG-Tagung im August 1995 in Boulder kam es zu einer Vorstellung der GFZ (Helmholtz Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum) Arbeiten am CHAMP-Projekt und der Überlegungen bei JPL (Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Kalifornien) zur Entwicklung eines Intersatelliten Ranging Instruments. Im Anschluss an diese Präsentation wurde zwischen GFZ, JPL, und dem CSR (Center for Space Research, Austin) verabredet, dass eine vom GFZ finanzierte Machbarkeitsstudie zur Untersuchung verschiedener Varianten einer Tandem SST (Satellite-to-Satellite) Mission auf Basis des JPL Ranging Instruments und der Technologie, die für das CHAMP Projekt zur Realisierung anstand, erstellt werden sollte. Diese Machbarkeitsstudie war im Februar 1997 unter Mitwirkung von GFZ, JPL, CSR, der an der CHAMP-Entwicklung beteiligten Industrie und dem DLR Raumflugzentrum fertiggestellt und lieferte die technischen und programmatischen Details für den im August 1996 von CSR (Center for Space Research, Austin, Texas), GFZ Potsdam, JPL und Space Systems/Loral bei der NASA im Rahmen des Earth System Science Pathfinder Program (ESSP) eingereichten Vorschlag einer amerikanisch-deutschen Partnerschaftsmission mit dem Acronym GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) (Tapley et al., 1997). Der Durchbruch für die Realisierung dieser ersten niedrig-niedrig SST-Mission kam im Frühjahr 1997 mit der Annahme des GRACE-Vorschlags durch die NASA als erste Mission ihres ESSP-Programms und nach Unterzeichnung des Memorandum of Understanding zwischen den Raumfahrtagenturen NASA und DLR Ende 1998.

Die Gesamtverantwortung der letztlich im März 2002 gestarteten und bis in den Herbst 2017 sehr erfolgreich betriebenen GRACE-Mission hatte das CSR. JPL war für die Abwicklung der US-amerikanischen Teile des Projekts (Satelliten und Instrumentierung) verantwortlich, das GFZ war für die deutschen Missionselemente (Satellitenstart und Missionsbetrieb) zuständig. Datenverarbeitung, Verteilung, Archivierung und Produktverifikation erfolgte im Rahmen einer Kooperation zwischen CSR, JPL und GFZ.

GRACE – Missionsziele, Satelliten und Messprinzip

GRACE war eine speziell auf die Ausmessung der zeitlichen Variationen des Schwerefeldes der Erde ausgerichtete Satellitenmission, mit dem wissenschaftlichen Hauptziel, erstmals aus Satellitenflughöhe global integrierte Massenänderungen in der Geosphäre, die u.a. mit klimarelevanten Prozessen verbunden sind, über einen mehrjährigen Messzeitraum zu erfassen. Primäres messtechnisches Ziel war es, das globale Gravitationsfeld mit bis dato unerreichter Genauigkeit über einen räumlichen Bereich von 400 bis 40.000 km alle 30 Tage zu kartieren. Das aus zwei baugleichen Satelliten und den bordseitigen Instrumenten bestehende Gesamtsystem war daher so ausgelegt, dass monatliche mittlere Abbilder des Gravitationsfeldes gewonnen werden konnten, deren Genauigkeit in diesem Wellenlängenbereich die Kenntnis aus der CHAMP-Mission um das 100 bis 1000-fache übersteigen sollte. Neben der Bestimmung gemittelter (statischer) Schwerefeldmodelle aus der gemeinsamen Verarbeitung monatlicher Datenreihen über den gesamten Missionszeitraum, war wie bei CHAMP sekundäres Missionsziel die Nutzung von GPS Radio-Okkultationsmessungen zur Gewinnung von Dichte- und Temperaturprofilen in der Hochatmosphäre.

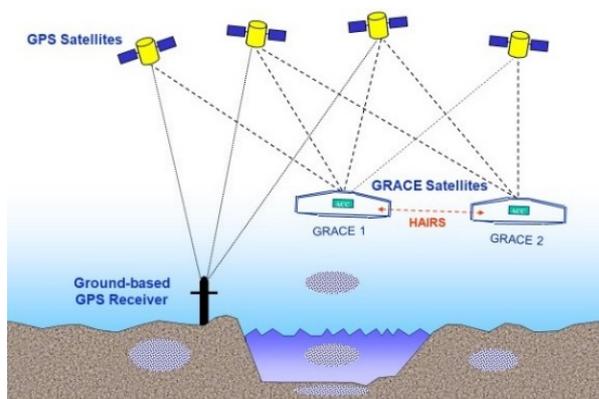


Abb. 6: GRACE Missions- Konzept

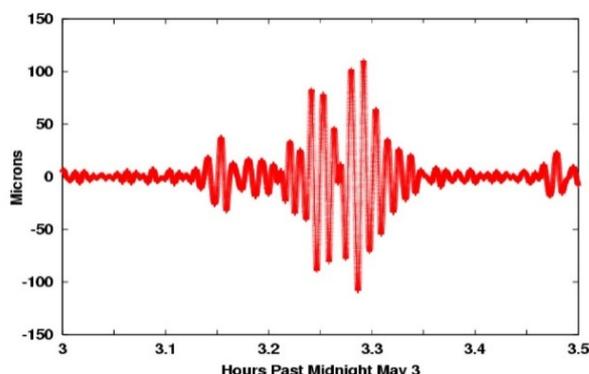


Abb. 7: Abstandsänderung in Mikrometern zwischen den Satelliten während eines Überflugs über den Himalaja am 3. Mai 2003.

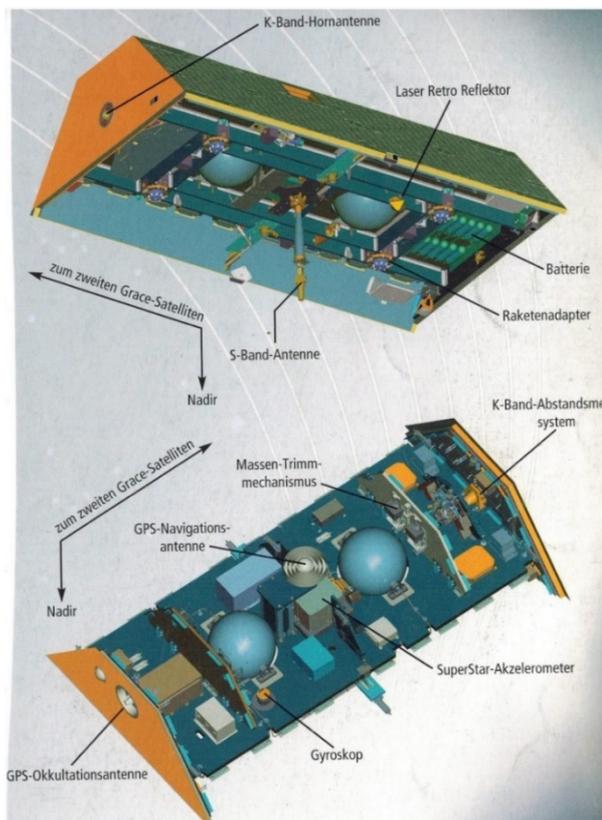


Abb. 8: Aufbau der GRACE Satelliten (Quelle Astrium)

Monat für Monat sollte aus GRACE-Daten ein neues globales Abbild des Erdschwerefeldes, das sich sowohl räumlich als auch zeitlich ändert, erstellt werden. Während der geplanten fünfjährigen Lebensdauer der Mission sollten aus der Abfolge dieser hochdetaillierten Karten des Gravitationsfeldes winzige Schwankungen der Gravitation erfasst und mit den physikalischen Eigenschaften des Planeten Erde in Beziehung gesetzt werden, folgend den im NRC-Report (1997) angestellten Überlegungen und Simulationen. Wie in diesem Report eindrucksvoll ausgeführt, aber auch schon von F.R. Helmert (Helmert, 1910) angedacht war, treten diese zeitlichen Veränderungen als Folge des kurz- und längerfristigen Massenaustausches zwischen Geosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre auf. Die solche Massenverschiebungen abbildenden winzigen Veränderungen des globalen Gravitationsfeldes (in Form des Geoides oder Schwereanomalienfeldes) können somit z.B. für Untersuchungen von Veränderungen im Massehaushalt der Hydrosphäre, der Ozeane, der Kryosphäre und von Veränderungen im Wärme- und Stoffaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre genutzt werden.

Die GRACE-Mission bestand aus zwei baugleichen Satelliten, die die Erde in einem Abstand von rund 220 km auf gleicher Bahn in anfänglich etwa 500 km Höhe umrundeten und durch ein hochgenaues Mikrowellen-Entfernungssystem miteinander verbunden waren. Die Abbildungen 6 und 7 zeigen das GRACE-Messkonzept. Bei der Annäherung an eine positive Massen-anomalie auf oder innerhalb der Erde wird der nähere Satellit durch die Anziehungskraft stärker beschleunigt als der ihm folgende Zwillings.

Überquert der erste Satellit die Massen-anomalie, beginnt für ihn die Abbremsphase, während der zweite noch beschleunigt wird. Entfernen sich beide Satelliten von der Massen-anomalie, so wird der zweite zunächst noch stärker abgebremst als der nun weiter entfernte erste Satellit. Das führt zu der in der oberen Abbildung dargestellten Signatur in der gemessenen Abstandsänderung beider Satelliten, wenn Hauptänderungen durch die Erdabplattung in der Größenordnung von 2 km vorher abgetrennt werden. Wegen des differentiellen Charakters der Messung lassen sich mit der Zwillingiskonfiguration sehr viel feinere Strukturen auflösen als aus den Bahnstörungen eines einzelnen Satelliten. Erforderlich sind aber Messgenauigkeiten in der Größenordnung von wenigen Mikrometern.

Jeder der beiden von der Firma Astrium (heute Airbus Defense & Space), im Auftrag von Space Systems Loral, gebauten, völlig identischen Satelliten war 3,1 mal 1,9 Meter groß und wog zum Startzeitpunkt 480 Kilogramm, davon 32 kg Treibstoff (Abb. 8). Die Struktur der GRACE-Satelliten war aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) hergestellt, einem Material, das es erlaubt, bei geringem Gewicht hochsteife Strukturen zu erstellen.

Diese thermostabile Steifigkeit der Strukturen (Verwindung $< 3 \mu\text{m}$ pro Umlauf) war Voraussetzung für die Realisierung der präzisen Feinausrichtung der Satelliten zueinander und der laufenden Gewinnung höchstgenauer Messungen von relativem Abstand und Geschwindigkeit zwischen den beiden Satelliten im Bereich weniger Mikrometern bzw. $0.1 \mu\text{m/s}$. Zusätzlich sorgte ein spezieller Massentrimm-Mechanismus dafür, dass sich der Schwerpunkt jedes Satelliten während der gesamten Missionsdauer um nicht mehr als 0.1 mm verlagert. Die Hauptmessungen erfolgten mit dem vom JPL gebauten High Accuracy Inter-Satellite Ranging System (HAIRS), das die Distanzänderung zwischen den beiden Satelliten misst. Zwei verschiedene Frequenzsignale von 24 GHz (K-Band) und 32 GHz (Ka-Band) wurden zwischen den Satelliten übertragen und empfangen (Davis et al., 1999). Die empfangenen und zunächst satellitenseitig gespeicherten Signale wurden regelmäßig zum Boden übertragen und anschließend zu von ionosphärischen Effekten unbeeinflussten

Abstandsmessungen kombiniert, welche die Basis für die Schwerefeldbestimmungen bildeten. Die Bahnbewegungen beider Satelliten hängen aber nicht nur von der global integrierten Wirkung der Massenverteilungen und -bewegungen im Erdsystem ab, sondern auch von Beschleunigungen, die durch den Luftwiderstand der Hochatmosphäre oder den Strahlungsdruck der Sonne verursacht werden. Diese Beschleunigungen müssen sehr genau gemessen werden, um die Gravitationseffekte von den nichtgravitativen Effekten in den Distanzänderungen zu trennen. Dazu wurde ein hochgenauer SuperSTAR-Beschleunigungssensor der französischen Firma ONERA (Touboul et al., 2004) im Massenschwerpunkt jedes Satelliten montiert. US-amerikanische BlackJack GPS-Empfänger positionierten, wie bei CHAMP, beide GRACE-Satelliten mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern über der Erde. Die Ausrichtung jedes GRACE-Satelliten wurde mit Hilfe von zwei dänischen Sternkameras von DTU (Danish University of Technology) erfasst, die starr am Beschleunigungssensor befestigt waren und den Himmel auf der Backbordseite und auf der Steuerbordseite in einem Winkel von 55 Grad zum Zenit beobachteten. Schließlich wurde ein Laser-Retroreflektor des GFZ an der Unterseite der Raumfahrzeuge angebracht, um die unabhängige Verifikation der durch GPS bestimmten GRACE-Bahnen vom terrestrischen Laser-Tracking-Netzwerk aus zu ermöglichen. Mit diesem Satz von fortlaufenden Messungen des GRACE-Tandems konnten global weitestgehend homogene Verteilungen von hochgenauen Messdaten Monat für Monat erreicht werden, die die Grundlage für die Berechnung von monatlichen bis hin zu täglichen Modellen des globalen Gravitationsfeldes bildeten.

Start, Missionsverlauf und Datenprodukte

Gestartet wurden die beiden GRACE-Satelliten am 17. März 2002 vom nordrussischen Kosmodrom Plesetsk mit einer ROCKOT Trägerrakete, einer konvertierten russischen Interkontinentalrakete SS-19 mit manövrierbarer BREEZE-KM Oberstufe. Zuständig für die Bereitstellung der Startrakete und die Vorbereitungsarbeiten am Startplatz war das deutsch-russische Raumfahrtunternehmen EUROCKOT Launch Services, ein Gemeinschaftsunternehmen der Firmen Astrium und Khrunichev. Die Satelliten wurden zielgenau in eine sehr polnahe ($i=89,0^\circ$) und fast kreisförmige ($e=0,0003$) Umlaufbahn in 500 km Höhe eingeschossen und ab diesem Zeitpunkt vom DLR-Raumflugzentrum GSOC (German Space Operations Center) in Oberpfaffenhofen zum weiteren Missionsbetrieb übernommen. Nach Ausrichtung der Satelliten entlang ihrer lokalen Vertikal- und Horizontalachsen und Separation auf einen gegenseitigen Abstand von 220 km, drifteten beide Satelliten während des gesamten Missionszeitraums frei unter dem Einfluss des Schwerefeldes. Die aus Magnettorquern und Kaltgasdüsen bestehenden Lagekontrollsysteme beider Satelliten regelten die Lage laufend so, dass die gegenseitige Ausrichtung der Hornantennen des HAIRS-Systems in einem Bereich von 1 bis 10 mRad gewährleistet blieb. Um den langsam variierenden Abstand zwischen den Satelliten während des gesamten Missionszeitraums im Bereich 220 ± 50 km zu halten, wurde etwa zwanzigmal in Flugrichtung nachgesteuert. Um das Risiko eines Verlustes der thermischen Kontrolle der Hornantennen aufgrund der Wirkung atomarer Sauerstoffeinwirkung zu vermeiden, wurde im Dezember 2005 und viermal gegen Ende der Mission durch ein spezielles Manöver die gegenseitige Position der Satelliten ausgetauscht.

In der dreimal länger als ursprünglich geplanten 15-jährigen Missionszeit (Abb.9) haben alle Geräte an Bord der GRACE-Satelliten nahezu kontinuierlich Mess- und Kontrolldaten für den Satellitenbetrieb und die Überwachung der Instrumente sowie die wissenschaftliche

Auswertung geliefert. Im September 2017 musste aufgrund des altersbedingten Ausfalls einer größeren Anzahl von Batteriezellen auf GRACE-2 und ausgehendem Treibstoff der Tandembetrieb eingestellt werden. Damit war die überaus erfolgreiche aktive GRACE-Langzeitmission beendet. Am 24. Dezember 2017 verglühte GRACE-2 in der Erdatmosphäre. Der Zwilling GRACE-1 folgte dem gleichen Schicksal am 10. März 2018.

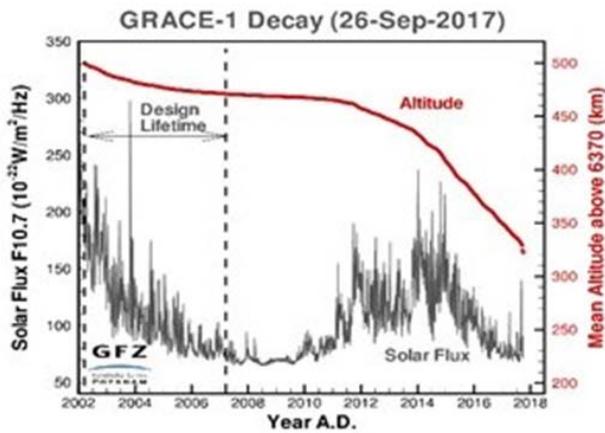


Abb. 9: GRACE Bahnhöhenänderung im Zeitraum März 2002 bis September 2017

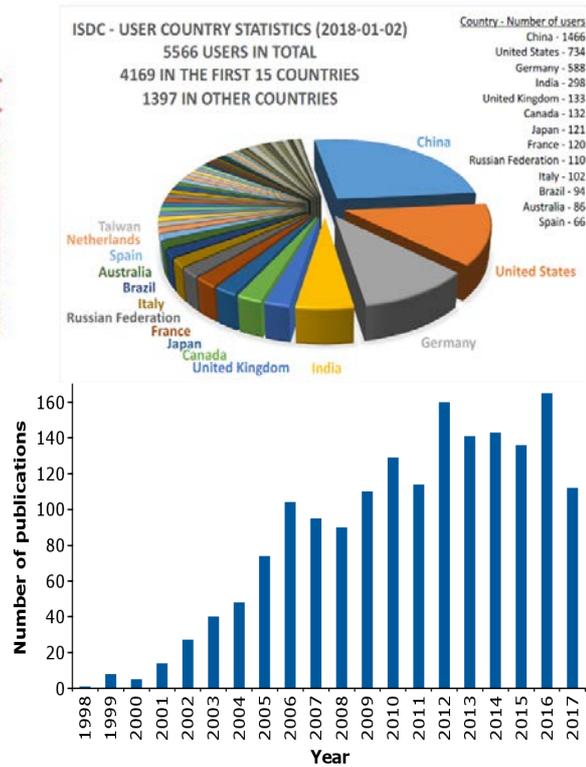


Abb. 10: Statistik weltweit registrierter Nutzer im ISDC Anfang 2018 (oben) und jährliche GRACE-Publikationen (unten)

Sämtliche vom GRACE-System gewonnenen Messdaten wurden im GRACE Science Data System (SDS), gemeinsam betrieben von JPL, CSR und GFZ, zu sogenannten GRACE-Produkten der Level-0 bis Level-2 Stufen verarbeitet und archiviert. Die Archivierung der Produkte und unterstützender Dokumente erfolgte im JPL Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PODAAC) sowie am GFZ betriebenen Information System and Data Center (ISDC). Beide Archive wurden laufend automatisch harmonisiert, weltweite Nutzer können alle GRACE-Daten und vom SDS berechnete Bahn- und Schwerefeldprodukte dort abrufen. Abbildung 10 zeigt die Anzahl der registrierten Nutzer am ISDC zum 2. Januar 2018 und Statistiken aus GRACE entstandener Publikationen bis Ende 2017.

Schwerefeldergebnisse

Zeitvariable Schwerefeldmodelle

Wichtigstes Auswerteziel der GRACE-Mission war die Berechnung und schnelle Bereitstellung von zeitvariablen Schwerefeldmodellen. Die drei Auswerteteams am GFZ, CSR und JPL haben von April 2002 bis Juni 2017 nahezu ohne Unterbrechung monatliche und wöchentliche zeitvariable GRACE-Schwerefeldmodelle berechnet. Diese für die weitere Interpretation und Auswertung wichtigen Zeitreihen der drei Auswerteteams wurden in Form von sogenannten GRACE Level-2 Produkten bereitgestellt, d.h. als Satz von Kugelfunktionskoeffizienten, die das Schwerepotential der Erde für eine bestimmte Zeitperiode und

eine räumliche Auflösung beschreiben. Die Zeitreihen der drei SDS-Auswertezentren sind als verschiedene Versionen, gemeinsam mit hilfreicher Dokumentation, in den beiden GRACE Archiven ISDC und PODAAC gespeichert.

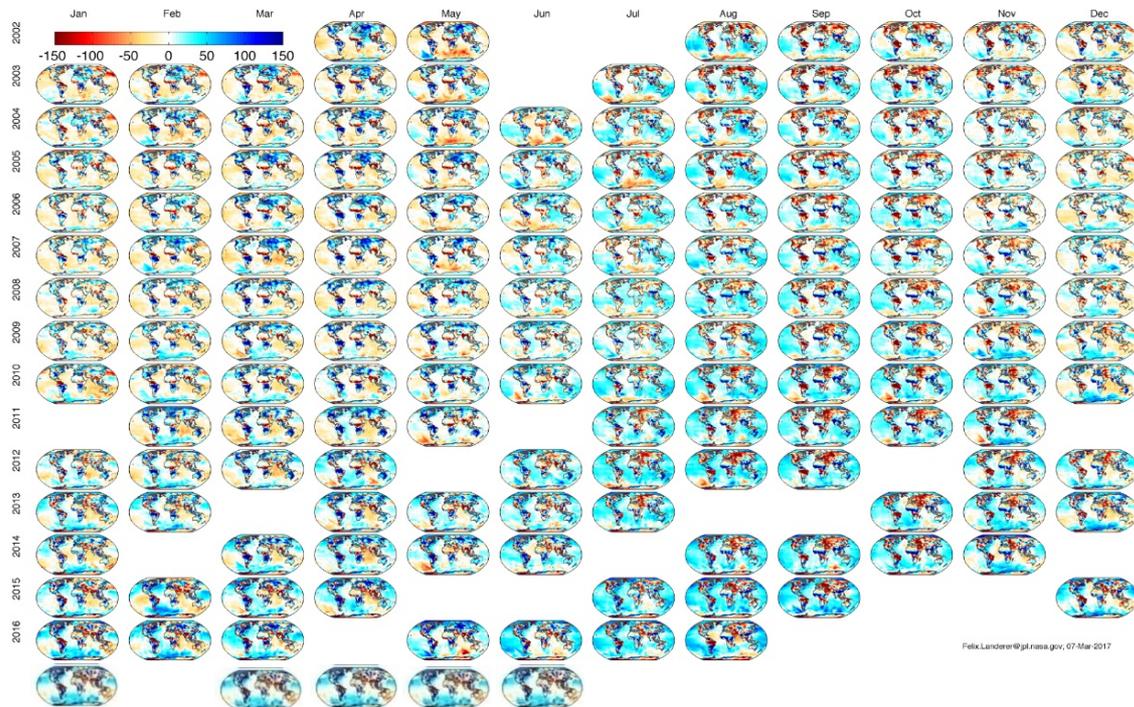


Abb. 11: Zusammenstellung aller vom GRACE-SDS im Zeitraum April 2002 bis Juni 2017 prozessierten RL05 monatlichen Schwerefeldlösungen

Zeitreihen monatlicher Schwerefelder gibt es in den Versionen RL01 bis RL05. Die vom GFZ berechnete Zeitreihe GFZ RL05 (Dahle et al., 2012) erstreckt sich, wie alle SDS-Versionen, über den Zeitraum April 2002 bis Juni 2017 und besteht aus 159 Monatslösungen (Abb. 11). In einigen Monaten gab es aufgrund fehlender oder nicht nominaler Level-1B Instrumentendaten, hauptsächlich bedingt durch Batterieprobleme auf GRACE-2 seit Anfang 2011, keine Schwerefeldlösungen.

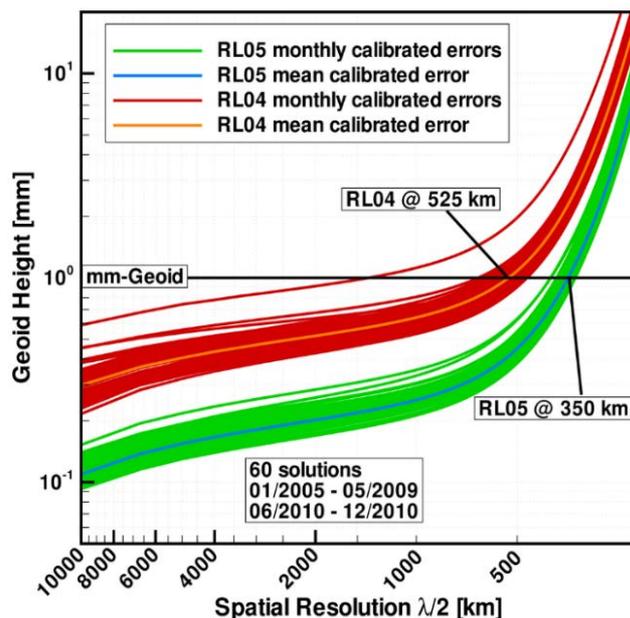


Abb. 12: Kalibrierte Fehler der GFZ RL04 und RL05 Zeitreihen ausgedrückt in Geoidhöhenfehler monatlichen Schwerefeldlösungen

Die RL05-Modelle mit einer Auflösung bis Grad und Ordnung 90x90 (etwa 220 km Halbwellenlänge) repräsentieren Schwerefeldvariationen hervorgerufen durch kurzfristige, saisonale und langfristige Veränderungen der kontinentalen und ozeanischen Wassermassen, der Masse von Hochgebirgsgletschern und Eisschilden, Krustenbewegungen im Zusammenhang mit der postglazialen Landhebung und abrupten sehr starken Erdbeben, so-

wie Fehlern oder nicht modellierten Effekten in den verwendeten Hintergrundmodellen. Wie Abb. 12 zeigt, konnten mit den RL05-Monatsmodellen des GFZ (und auch der anderen SDS Auswertezentren) räumliche Veränderungen des Geoids bis zu Halbwellenlängen von 350 km mit besser als 1 mm erfasst werden. Deutlich wird auch die Verbesserung gegenüber der Vorgängerzeitreihe RL04, die diese räumliche Genauigkeit nur bei 525 km erreichte. Im Frühjahr 2018 wurde daher damit begonnen, die gesamte Missionszeitreihe noch einmal, basierend auf verbesserten Hintergrundmodellen und Prozessierungsstandards, als RL06 zu prozessieren. Erste Ergebnisse zeigen eine nochmalige Reduktion der Fehler über den Ozeanen von ca. 20-25% und wurden auf der EGU im April 2018 vorgestellt.

Zusätzlich wurden vom GFZ Zeitreihen von wöchentlichen Schwerefeldern durch das Lösen von Teilmengen der monatlichen Normalgleichungssysteme, die der Einteilung der GPS-Wochen entsprechen, gebildet. Sie zeichnen sich durch eine höhere zeitliche Auflösung aus, allerdings auf Kosten einer geringeren räumlichen Auflösung.

Neben den genannten monatlich bis hin zu täglichen Produkten vom GFZ wurden von folgenden Prozessierungszentren zeitvariable GRACE-Schwerefeldlösungen mit unterschiedlichen Auswerteverfahren in den letzten Jahren berechnet und zur Verfügung gestellt:

- Monatliche Schwerefeldlösungen von CSR und JPL im Rahmen des GRACE SDS
- Mascon-Lösungen vom Goddard Space Flight Center (GSFC), JPL und CSR
- 10-tägige Lösungen aus der Kombination von GRACE- und LAGEOS-Daten von GRGS
- Tägliche, monatliche und statische Modelle vom Institut für Geodäsie und Geoinformation (IGG) der Universität Bonn sowie der TU Graz
- Monatliche und statische Modelle vom Astronomischen Institut (AIUB) der Universität Bern
- Massentransportmodelle vom Delft Institute for Earth-Oriented Space Research (DEOS)

Statische Schwerefeldmodelle

Zusätzlich zu den zeitvariablen Schwerefeldmodellen wurden vom GFZ – in Kooperation mit der GRGS (Groupe de Recherche de Geodesie Spatiale) in Toulouse – statische, sogenannte EIGEN-Modelle (EIGEN: European Improved Gravity model of the Earth by New techniques) berechnet. Bei diesen statischen, d.h. über längere Zeiträume gemittelten, Schwerefeldmodellen wurde unterschieden zwischen „GRACE-only“, „satellite-only“ (aus Kombination von GRACE-, GOCE-, CHAMP- und/oder LAGEOS-Daten) und kombinierten Modellen, in die zusätzlich terrestrische Schweredaten eingegangen sind. Aus der Reihe der 13 berechneten EIGEN-Modelle seien nur drei Modelle aus dem gesamten Analysezeitraum aufgeführt:

- das erste „GRACE-only“ Schwerefeldmodell EIGEN-GRACE01S, vollständig bis Grad und Ordnung 150 (Reigber et al., 2005),
- das „Satellite-only“ Schwerefeldmodell GO_CONS_GCF_2_DIR_R3, vollständig bis Grad und Ordnung 240 und berechnet mit GOCE-, GRACE- und LAGEOS-Daten. Dieses Modell ist das RL03 der offiziellen GOCE-Modellserie der ESA und wurde über

den "direct approach" durch GFZ und GRGS innerhalb der GOCE High Level Processing Facility erstellt (Bruinsma et al, 2010), sowie

- das hochauflösende Kombinations-Schwerefeldmodell EIGEN-6C4, vollständig bis Grad und Ordnung 2190 und berechnet mit GOCE, GRACE, LAGEOS und Oberflächenschweredaten (Förste et al, 2014). Dieses Modell wurde z.B. zur Neuberechnung des kanadischen Höhensystems ausgewählt.

Sämtliche EIGEN-Modelle stehen in der ICGEM (International Center for Global Earth Models, <http://icgem.gfz-potsdam.de>) Datenbank des GFZ zum Download zur Verfügung. Das ICGEM bietet neben weiteren statischen und zeitvariablen Modellen, auch webbasierte Visualisierungen der Modelle, sowie interaktive Serviceangebote zur Berechnung verschiedener Schwerefeldfunktionale zur weiteren Benutzung an (Barthelmes und Köhler, 2016).

Klimarelevante Anwendungen

Mit der systematischen Generierung von genauen, monatlichen Schwerefeldmodellen aus den global gewonnenen GRACE Messdaten über einen langen Missionszeitraum, ist für die Forschung ein völlig neues Fernerkundungsverfahren zur Erfassung von Massenänderungen in der Geosphäre vom Weltraum aus etabliert worden. In einer beeindruckenden Fülle von wissenschaftlichen Veröffentlichungen haben weltweit Geodäten, Geophysiker, Glaziologen, Hydrologen und Ozeanographen, mit Rückgriff auf GRACE-Daten, GRACE-SDS-Produkten oder eigenen GRACE-Auswertungen, eine breite Palette von Untersuchungen und Analysen zur Variation der kontinentalen Wasserspeicherung, zum Wärme- und Stoffaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre, zur allgemeinen Ozeanzirkulation, zu Veränderungen im Massebudget des grönländischen und antarktischen Eises, aber auch zu Meeresbodenströmungen und der Massenverteilung im Erdinnern durchgeführt. Am GFZ (http://www-app2.gfz-potsdam.de/pb1/op/grace/references/sort_date.html) sind bis dato z.B. über 1700 diesbezügliche Referenzangaben zusammengestellt.

Ein guter Teil dieser Veröffentlichungen befasst sich mit GRACE-Resultaten zu klimarelevanten Phänomenen und menschlicher Übernutzung natürlicher Ressourcen. Aus der ganzen Fülle von grandiosen Resultaten seien hier stellvertretend nur einige wenige Beispiele angeführt, die zum Teil auch Eingang in die Analysen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in seinem fünften Sachstandsbericht AR5 von 2014 gefunden haben (IPCC, 2014).

Grundwasserbeobachtung: In Böden und wasserführenden Gesteinsschichten (Aquifere) gespeichertes Grundwasser konnte im globalen Maßstab bisher kaum gemessen werden. Es hat sich in beeindruckender Weise gezeigt, dass mit GRACE beobachtete kleinste Masseänderungen jetzt helfen können, den Raubbau an Grundwasserressourcen zu dokumentieren. Dank GRACE-Daten konnten in den letzten zehn Jahren mehr und mehr Aquifere identifiziert werden, die von Menschen rascher entleert werden, als sie sich erneuern können. So wurde 2015 eine Übersicht veröffentlicht, die zeigte, dass weltweit ein Drittel der größten Grundwasserbecken dramatisch übernutzt werden (Richey et al., 2015).

Flutereignisse und Krisenmanagement: Im Rahmen des EGSIEM (European Gravity Service for Improved Emergency Management) Projekts, das im Zeitraum 2015-2017 vom Horizon2020-Programm der EU gefördert wurde, hat das GFZ (neben der TU Graz) tägliche Lösungen in Nahe-Echtzeit (<2 Tage) berechnet und daraus Feuchteindikatoren abgeleitet. Diese werden benötigt, um die Entstehung und Entwicklung von Flutereignissen in großen Flusssystemen vorherzusagen. Die abgeleiteten Feuchteindikatoren wurden erfolgreich

operationell in einer dreimonatigen Testphase (April-Juni 2017) beim satellitengestützten Kriseninformationssystem (ZKI) des DLR verwendet. An Hand von historischen Flutereignissen konnte zudem gezeigt werden, dass die Vorwarnzeiten teilweise bis auf 6 Wochen reduziert werden konnten, z.B. in den Donaufloten 2006 und 2010 (Gouweleeuw et al., 2018; Jäggi et al., 2018). Zusätzlich wurden die aus GRACE-Daten abgeleiteten täglichen Feuchteindikatoren in einer vor-operationellen Weise im Vorhersagesystem des Global Flood Awareness System (GloFAS), das gemeinsam von der Europäischen Kommission und dem Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) entwickelt wurde, implementiert.

Polare Eisschilde: Die Antarktis ist ein extrem unwirtlicher Ort, um in-situ Daten zu sammeln, und Grönland ist vergleichbar problematisch. Gleichwohl ist es sehr wichtig zu wissen, wie schnell sich die Gesamtmasse der die Eisschilde in diesen Gebieten verändert, um die Schwankungen des Meeresspiegels weltweit besser zu verstehen. Forscher, die sich mit der Kryosphäre befassen, gehörten zu den ersten Pionieren bei der Nutzung von GRACE-Daten. Es stellte sich schnell heraus, dass der Massenverlust sowohl des grönländischen als auch antarktischen Eises weitaus dramatischer ist als bisher angenommen. In Zahlen ausgedrückt, seit dem Start von GRACE hat Grönland 280 Milliarden Tonnen Eis pro Jahr verloren, die Antarktis rund 120 Milliarden Tonnen (Velicogna et al., 2014). Sasgen, Dobs law und andere (Sasgen et al., 2010) haben gezeigt, wie die jahreszeitlichen Schwankungen des Schneefalls und die damit verbundene Massenzunahme auf der Antarktischen Halbinsel mit der Stärke eines Tiefdrucksystems über der Amundsensee zusammenhängen. Dieses Tiefdruckgebiet wiederum ist mit dem tropischen La-Niña-Phänomen (dem Gegenstück zu El Niño) verknüpft. So haben GRACE-Daten erstmals ermöglicht, den Effekt von atmosphärischen "Telekonnektionen", die das Klima der Tropen sogar mit entlegenen Regionen wie der Antarktis verbinden, zu quantifizieren.

Hochgebirgsgletscher: GRACE-Daten zeigen auch den Massenverlust von Gletschern in vielen Hochgebirgsregionen der Erde an. Dieser Verlust an Wasser geht einher mit einer Gefährdung der Wasserversorgung der den Gebirgen vorgelagerten Gebieten und Überschwemmungsgefahren durch Ausbrüche von sich bildenden Gletscherseen. Ein internationales Team von Forschern um Farinotti und Güntner vom GFZ hat anhand von GRACE-Daten abgeschätzt (Farinotti et al., 2015), dass das Tian Shan-Gebirge in Zentralasien derzeit jährlich doppelt so viel Eis verliert, wie ganz Deutschland an Wasser pro Jahr verbraucht. Gekoppelt an ein glaziologisches Modell ergaben die Daten, dass die Hälfte allen Gletschereises des Tian Shan im Jahr 2050 verschwunden sein könnte.

Ozeandynamik: Das Meerwasser erwärmt sich und dehnt sich daher aus. Hinzu kommen die erhöhten Zuflüsse aus den Gletscherregionen und Eisschilden der Erde. Beides trägt zum Anstieg der Meeresspiegel weltweit bei. Zwar gibt es seit 1992 hochpräzise Meeresspiegelmessungen über die US-französische Topex-Poseidon- und die folgenden Jason-Missionen, aber diese zeigen nur die gesamten Höhenänderungen der Meeresoberfläche an. Um herauszufinden, ob sich die (temperaturbedingte) Ausdehnung des Wassers oder schmelzendes Eis oder der Wasserzufluss von Land mehr auf diese Änderungen auswirkt, muss man die Massenverteilung des Wassers untersuchen. Bergmann vom GFZ hat dies mit GRACE-Daten für den antarktischen Zirkumpolarstrom getan. Gemeinsam mit Dobs law gelang es ihr (Bergmann und Dobs law, 2012), sogar Schwankungen in Zeiträumen von weniger als einem Monat zu dokumentieren. Damit eröffneten sie einen weit besseren großräumigen Blick auf die Dynamik der weltweit stärksten Meeresströmung als bisherige Messungen vor Ort ergeben hatten.

Dynamik des Erdkörpers: Als Reaktion auf die Veränderung der Masse des oberflächennahen Wassers bewegt sich auch der zähflüssige Mantel unterhalb der Erdkruste, wenn auch nur um Winzigkeiten. Kürzlich haben Adhikari und Ivins (Adhikari und Ivins, 2016) vom JPL Daten von GRACE genutzt, um zu ermitteln, wie nicht nur der Verlust der Eisschilde, sondern auch der Schwund des Grundwassers die Erdrotation verändert haben, weil sich das System diesen Massebewegungen anpasst.

Literaturverzeichnis

Löcher, A.: Möglichkeiten der Nutzung kinematischer Satellitendaten zur Bestimmung des Gravitationsfeldes der Erde, Dissertation D98 IGG der Universität Bonn, 2010

Wolff, M.: Direct Measurements of the Earth's Gravitational Potential Using a Satellite Pair, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 74, No. 22, pp. 5295-5300, October 15, 1969

Kaula, W.M.: The Terrestrial Environment, SOLID-EARTH AND OCEAN PHYSICS, Application of Space and Astronomic Techniques, Report of a Study at Williamstown, Mass. To NASA, August 1969

Fischell, R.E. and Pisacane, V.L., A drag-free lo-lo satellite system for improved gravity field measurements, in: Proceedings of the 9th GEOP Conference, Reports of the Department of Geodetic Science and Surveying, Report 280, Ohio State University, Columbus, 1978

Reigber, Ch.: Improvements of the gravity field from satellite techniques as proposed to the European Space Agency. Proc. 9th GEOP Conference, Oct. 2-5, 1978, Dept. of Geodetic Science, Report No. 280, The Ohio State Univ., Columbus, 221-232, 1978

Keating, Th., Taylor, P., Kahn, W., Lerch, F.: Geopotential Research Mission, Science, Engineering and Program Summary, NASA Technical Memorandum 86240, 1986

Reigber, Ch.; Schwintzer, P.; Hartl, Ph; Ilk, K.H.; Rummel, R.; Gelderen, M.; Schrama, O.; Wakker, K.F.; Ambrosius, B.; Leeman, H.: Study of a Satellite-to-Satellite Tracking Gravity Mission. ESTEC Contract No. 6557/85/NL/PP(SC), Munich, 1987

Balmino, G., Barlier, F., Biancale, R., Lefebvre, M., Lemoine, J.M., Marty, J.C., Perosanz, F.: Proposition pour le cartographie du champ de gravite terrestre; projet BRIDGE-differents scenarios. CNES-GRGS Publication, 1995

European Space Agency: ARISTOTELES Programme Proposal, ESA/PB-EO (91)1, Rev.1, Paris 1991

Tapley, B.D., Kuenstler W.K., Davis, A., Elachi, C., Thacker, J.C., Reigber, C., Seipel, H.: GRACE Mission Proposal to the ESSP Program, 1997

National Research Council: Satellite Gravity and the Geosphere: Contributions to the Study of the Solid Earth and its Fluid Envelope, National Academy Press, Washington, D.C., 1997

Helmert, F.R.: Die Schwerkraft und die Massenverteilung der Erde. Enzyklopädie der math.Wissenschaften in 7 Bänden, Bd. VI, Geodäsie, Teilbd. 1/7, S. 85–177, Leipzig 1910

Davis, E.S., Dunn, C.E., Stanton, R.H., Thomas, J.B.: The GRACE Mission- Meeting the Technical Challenges. American Institute of Aeronautics and Astrophysics, IAF-99-B.2.05, 1999

Touboul, P., Willemenot, E., Foulon, B., and Josselin, V., Accelerometers for CHAMP, GRACE and GOCE space missions and evolution, *Boll. Geof. Teor.*, 2004

Reigber, C., Schmidt, R., Flechtner, F., König, R., Meyer, U., Neumayer, K.H., Schwintzer, P., Zhu, S.Y.: An Earth gravity field model complete to degree and order 150 from GRACE: EIGEN-GRACE02S, *Journal of Geodynamics* 39, 1-10, 2005

Bruinsma, S.L., Marty, J.C., Balmino, G., Biancale, R., Foerste, C., Abrikosov, O., Neumayer, H.: GOCE Gravity Field Recovery by Means of the Direct Numerical Method; ESA Publications Division, Norwijk, The Netherlands, Vol SP 686, Bergen, Norway, 2010

Förste, Ch., Bruinsma, S. L., Abrikosov, O., Lemoine, J-M., Marty, J. Ch., Flechtner, F., Balmino, G., Barthelmes, F., Biancale, R.: EIGEN-6C4, The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse; GFZ Data Services, doi: 10.5880/ICGEM.2015.1, 2014

Dahle, Ch.; Flechtner, F.; Gruber, Ch.; König, D.; König, R.; Michalak, G.; Neumayer, K.-H. (2012): GFZ GRACE Level-2 Processing Standards Document for Level-2 Product Release 0005, (Scientific Technical Report STR12/02 – Data, Revised Edition, January 2013), Potsdam, 21 p. DOI: 10.2312/GFZ.b103-1202-25

Barthelmes, F. & Köhler, W., 2016, International Centre for Global Earth Models (ICGEM), in: Drewes, H., Kuglitsch, F., Adám, J. et al., The Geodesists Handbook 2016, Journal of Geodesy (2016), 90(10), pp 907-1205, doi: 10.1007/s00190-016-0948-z

IPCC; Fifth Assessment Report (AR5), www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml

Richey, A. S., Thomas, B. F., Lo, M.-H., Reager, J. T., Famiglietti, J. S., Voss, K., Swenson, S., and Rodell, M., 2015. Quantifying renewable groundwater stress with GRACE. *Water Resources Research*, 51:5217–5238, doi: 10.1002/2015WR017349.

Velicogna, I., Sutterley, T. C., and van den Broeke, M. R., 2014. Regional acceleration in ice mass loss from Greenland and Antarctica using GRACE time-variable gravity data. *Geophysical Research Letters*, 41:8130–8137, doi: 10.1002/2014GL061052

Sasgen, I., Dobsław, H., Martinec, Z., and Thomas, M.: Satellite gravimetry observation of Antarctic snow accumulation related to ENSO. *Earth and Planetary Science Letters*, 299:352–358, doi: 10.1016/j.epsl.2010.09.015, 2010

Farinotti, D., Longuevergne, L., Moholdt, G., Duethmann, D., Mölg, Th., Bolch, T., Vorogushyn, S., Güntner, A.: Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years, *Nature Geoscience*, volume 8, pages 716–722 (2015), doi: 10.1038/ngeo2513, 2015.

Bergmann, I. and Dobsław, H.: Short-term transport variability of the Antarctic Circumpolar Current from satellite gravity observations. *Journal of Geophysical Research (Oceans)*, 117(C16):5044, doi: 10.1029/2012JC007872, 2012.

Adhikari, S. and Ivins, E. R.: Climate-driven polar motion: 2003-2015. *Science Advances*, 2: e1501693, doi: 10.1126/sciadv.1501693, 2016

GOCE

Die Vorgeschichte

Gravitationsgradiometrie ist die Messung von Gradienten der drei Komponenten des Gravitationsvektors, oder anders ausgedrückt, von zweiten Ableitungen des Gravitationspotentials. Man könnte die von dem ungarischen Physiker und Geodäten Lorand Eötvös entwickelte geodätische Drehwaage als erstes Gradiometer bezeichnen (Selényi, 1953). Die Eötvössche Drehwaage wurde viele Jahre in Geodäsie und Explorationsgeophysik eingesetzt. Hier schließt sich auch der Kreis zu Robert Friedrich Helmert. Im Jahr 1909 beantragte Helmert zusammen mit Albrecht Penck (1856 – 1945; Geograph und Geologe) und Emiel Gabriel Warburg (1846 – 1931; Physiker) die Aufnahme von Baron Lorand Eötvös als korrespondierendes Mitglied in die Königlich-Preussische Akademie der Wissenschaften zu Berlin (Helmert, 1993; S.31).

Bereits in den sechziger und siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gab es Vorschläge zum Bau eines Satellitengravitationsgradiometers, es sei verwiesen auf zum Beispiel (Carroll & Savet, 1959; Diesel, 1964; Forward & Miller, 1967; Forward, 1972; Savet, 1969). Hieraus entstanden mehrere alternative Entwicklungslinien (Wells (ed.), 1984), die teilweise auch Eingang in die Planungen der NASA fanden (NASA, 1972; NRC, 1979). Grundlegende Arbeiten zur Theorie einer geodätischen Satellitengradiometrie gehen auf Moritz (1968 und 1986), Meissl (1971), Marussi (1979, 1984) und (Marussi & Chiaruttini, 1985) zurück, vgl. (Rummel, 1979 und 1986). Während sich die NASA, das GFZ sowie einige weitere deutsche Institutionen schließlich auf die Realisierung einer Satellite-to-Satellite-Tracking-Mission im niedrig-niedrig Modus konzentrierte, wurde auf europäischer

Seite im Rahmen der ESA das Gradiometrie-Konzept verfolgt. Basierend auf den positiven Erfahrungen mit dem Beschleunigungsmesser CACTUS auf der französischen Satellitenmission CASTOR (D5B), (Bernard u.a., 1985) wurde eine Gradiometermission unter der Bezeichnung GRADIO, (Balmino u.a., 1984 und Balmino u.a., 1985) für das ESA Science-Programm Horizon 2000 vorgeschlagen. Das Missionskonzept zu GRADIO war auch die Grundlage für den Missionsvorschlag ARISTOTELES, einer kombinierten Vermessung des Erdmagnetfelds und Erdschwerefelds (ARISTOTELES, 1989). Weder GRADIO noch ARISTOTELES kamen zur Realisierung, die Zeit hierfür war noch nicht reif und es fehlte die Einbettung einer Schwerefeldmission in die Programme der ESA. Nach dem Entstehen eines eigenen erdwissenschaftlichen Satellitenprogramms der ESA, dem „Living Planet Programme“ in den neunziger Jahren gelang es, aufbauend auf den Erfahrungen mit GRADIO und ARISTOTELES eine reine Gravitationsgradiometermission voranzutreiben. Der Missionsvorschlag GOCE (ESA, 1999) wurde 1998 in einem mehrstufigen Auswahlverfahren von Wissenschaftlern und ESA-Delegierten als erste Explorermission dieses Programms zur Realisierung auserkoren.

GOCE – Missionsziele, Satellit und Messprinzip

GOCE war der erste Satellit des erdwissenschaftlichen Programms „Living Planet“ der Europäischen Raumfahrtagentur ESA. Der Start erfolgte am 17. März 2009 mit einer russischen Trägerrakete von Plesetsk aus. Ziel dieser Mission war die möglichst detailgenaue Vermessung des Gravitationsfelds der Erde. Die Bestimmung des Erdschwerefelds gehört zu den wissenschaftlichen Aufgaben der Geodäsie; sie ist unzertrennlich verbunden mit der Ermittlung der Erdfigur.

Die Abkürzung GOCE steht für „Gravity and steady-state Ocean Circulation Explorer“. Abbildung 13 zeigt das Innenleben des Satelliten. Die Mission wurde hauptsächlich von Geodäten vorangetrieben und auch heute liegt die Auswertung der Messdaten überwiegend in Händen der Geodäsie. Zudem lieferte das Projekt wichtige Daten für die Geodäsie. Die wissenschaftlichen Ziele liegen jedoch primär auf den Gebieten der Ozeanographie und Geophysik. Dies unterstreicht die Tatsache, dass die Geodäsie sehr relevante Beiträge für die Erdwissenschaften im Allgemeinen und für die Klimaforschung im Besonderen liefert.

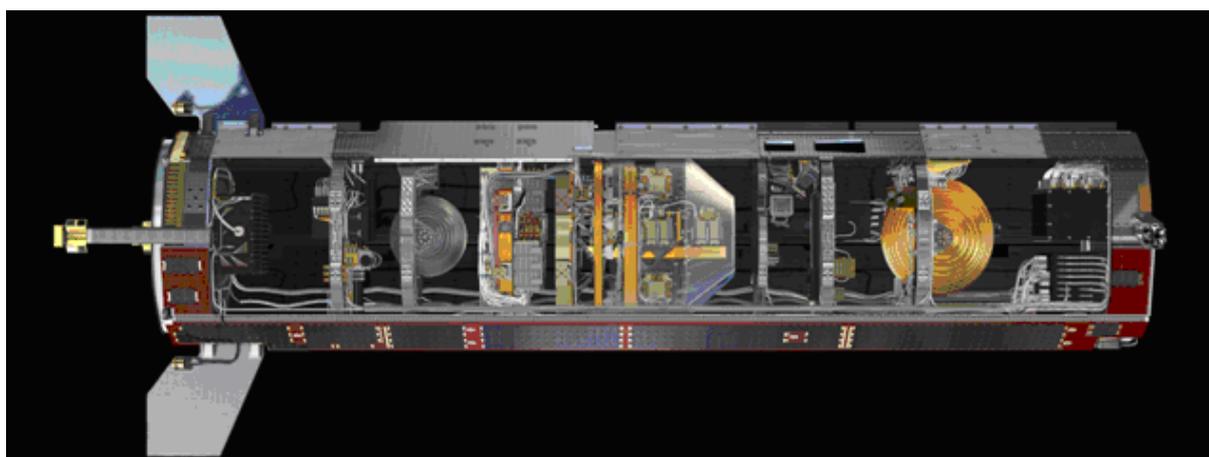


Abb. 13: Das Innenleben des Satelliten GOCE – Im Zentrum das Gravitationsgradiometer, unmittelbar daneben rechts die Sternsensoren und im nächsten Segment rechts der GPS-Empfänger europäischer Bauart (Quelle: ESA)

Missionsziel von GOCE war die detailgenaue Vermessung des Gravitationsfelds der Erde. Die Messanordnung war auf die Auflösung räumlicher Strukturen des Erdschwerefelds bis

zu ca. 100 km Ausdehnung ausgelegt. Dies mag im Vergleich zur erreichbaren Pixelgröße moderner bildgebender Verfahren eher bescheiden erscheinen. Für ein Schwerefeldmesssystem im Satelliten entspricht dies jedoch beinahe der Grenze des Möglichen. Die angestrebte Genauigkeit war dabei 1 Millionstel der Erdanziehung (= 1 MilliGal) bzw. eine Geoidhöhengenaugigkeit von 1 bis 2 cm. Grundsätzlich erscheint es beinahe paradox, das Gravitationsfeld der Erde vom Weltraum aus erfassen zu wollen, schließlich nimmt nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz die Signalstärke mit dem Quadrat des Abstands von den anziehenden Massen ab. Andererseits ist es nur mit Satelliten möglich, das Gravitationsfeld der Erde global, gleichmäßig und in vernünftiger Zeit zu vermessen. Um trotz der Höhe des Satelliten über der Erde die gewünschte Genauigkeit und Auflösung zu erzielen, wurde bei GOCE eine extrem niedrige, d.h. erdnahe Bahn gewählt, nur 255 km über der Erdoberfläche und es wurde erstmals das Prinzip der Gravitationsgradiometrie erprobt. Mit ihm lässt sich bis zu einem gewissen Grad der mit dem Quadrat des Abstands zunehmende Dämpfungseffekt kompensieren.

Zur Bestimmung des Gravitationsfelds der Erde nutzte GOCE zwei sich ergänzende Messsysteme. Mit einem geodätischen GPS-Empfänger europäischer Bauart wurde die Bahntrajektorie zentimetergenau vermessen. Der dabei verwendete rein geometrische Ansatz – man spricht von kinematischen Bahnen - stützt sich auf Messreihen sowohl des GPS-Codes als auch der Phase der GPS-Trägerwellen. Aus der berechneten Bahntrajektorie wurde der großskalige Anteil des Erdschwerefelds abgeleitet, (Bock u.a., 2011).

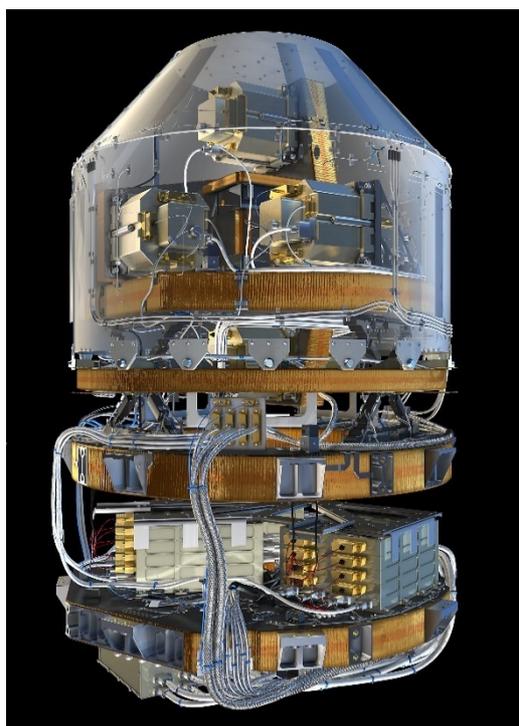


Abb. 14: GOCE Gravitationsgradiometer – Im oberen Teil sind drei der insgesamt sechs Beschleunigungsmessgeräte zu erkennen, sie sind jeweils am Ende dreier zueinander orthogonal angeordneter Achsen angebracht (Quelle: ESA).

Die Details des Gravitationsfelds wurden aus den Messungen des Gravitationsgradiometers ermittelt, siehe Abbildung 14. Das GOCE-Gradiometer besteht aus drei senkrecht zueinander angeordneten Armen, jeweils 50cm lang, an deren beiden Enden jeweils ein dreiachsiger Beschleunigungssensor (= B-Messer) angebracht ist.

Jeder der drei Arme mit jeweils zwei dieser Akzelerometer bildet ein einachsiges Gradiometer. Die x-Achse des Gradiometers zeigte in die Flugrichtung, die y-Achse orthogonal zur Satellitenbahnebene und die z-Achse in etwa radial vom Erdmittelpunkt nach außen. Das Zentrum des Instruments befand sich im Massenzentrum des Satelliten. Die B-Sensoren messen somit an sechs symmetrisch zum Satellitenzentrum angeordneten Stellen im Satelliten Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung, d.h. an den Enden der drei Achsen. Das Signal setzt sich zusammen aus einem Gravitationsanteil und einem Rotationsanteil. Der Rotationsanteil ist Folge der Drehbewegung des Satelliten (und seiner Instrumente) entlang der Bahn relativ zum Sternenhimmel. Der Gravitationsanteil entspricht der Gravitationswirkung am Ort des Beschleunigungsmessers relativ zur der im Massenzentrum des Satelliten. Beide Anteile sind sehr klein, typi-

scherweise nicht größer als ein Millionstel der Erdanziehung, d.h. von „g“ auf der Erde. Daher spricht man auch von „Mikrogravitation“. Für diesen Ansatz mussten extrem empfindliche B-Messer entwickelt werden (Touboul, 2003). Dies war der Beitrag von Onera, einer französischen Entwicklungsfirma für Weltrauminstrumente in Paris. Aus diesem Hause stammen auch die für CASTOR, CHAMP und GRACE eingesetzten B-Messer (Touboul u.a., 1999). Jedes der sechs GOCE-Akzelerometer besteht aus einer quaderförmigen Messkammer in der eine 320g schwere Rhodium-Platin-Platte (4cm x 4cm x 1cm) mit einem elektrostatischen, kapazitiven Rückkopplungssystem schwebend gehalten wird; das Rückkopplungssignal ist proportional zum Rotations-/Gravitationssignal. Da diese Sensoren im Labor auf der Erde unter dem Einfluß der Erdanziehung gebaut werden, musste jeweils eine Achse viel robuster und daher ungenauer ausgelegt werden, um elektrostatisch die Kraftwirkung der Erdanziehung auf die Probemasse kompensieren zu können.

Gemessen wird die Summe bzw. Differenz des Rotations-/Gravitationssignals der beiden Akzelerometer an den Enden jeder Achse, jeweils in x-, y- bzw. z-Richtung. Somit ergeben sich zum Beispiel entlang der x-Achse, d.h. in Flugrichtung als Differenzen die Komponenten {xx}, {xy} und {xz} und damit für alle drei Achsen insgesamt neun gemessene Komponenten. Im Prinzip hätte man gerne die sechs Gravitationsgradienten V_{xx} , V_{xy} , V_{xz} , V_{yy} , V_{yz} und V_{zz} sowie die drei Drehraten ω_x , ω_y und ω_z . Da jedoch jeweils eine Achse jedes B-Messers weniger genau ist, lassen sich nur die Gradienten V_{xx} , V_{xz} , V_{yy} und V_{zz} sowie die Drehrate ω_y – die Drehrate des Satelliten auf seiner „Kreisbahn“ um die Erde – mit höchster Genauigkeit ableiten. Dies reicht aber aus: aus jedem der vier Gravitationsgradienten lässt sich bereits das globale Gravitationsfeld der Erde berechnen, zudem ergibt sich aus der sogenannten LAPLACE-Gleichung für drei der Gradienten die Bedingung: $V_{xx} + V_{yy} + V_{zz} = 0$, die in jedem Punkt entlang der Satellitenbahn gelten muss, eine sehr wichtige Qualitätskontrolle, aus der ein genaues Bild des Niveaus des Messrauschens abgeleitet werden konnte. Die hohen Gradiometriegenauigkeiten wurden in einem Messband zwischen 0.005Hz und 0.1Hz erzielt. Die Drehraten werden aus den Gradiometermessungen in Kombination mit den Messungen der Sternsensoren bestimmt. Die Summensignale der gemessenen Beschleunigungen entsprechen den nichtgravitativen Kräften, die auf den Satellitenkörper einwirken, insbesondere dem Reibungseinfluß der in dieser Bahnhöhe noch vorhandenen Restatmosphäre. Das Summensignal in Flugrichtung von GOCE wurde in einer Rückkopplungsschleife dazu verwendet, um mit sehr empfindlichen Ionentriebwerken den auf den Satellitenkörper einwirkenden „Luftwiderstand“ zu kompensieren. Die Bahnbewegung war demnach in Flugrichtung rein gravitativ.

Nur so war es auch möglich, GOCE auf einer Höhe von nur 255 km über den gesamten Missionszeitraum um die Erde kreisen zu lassen und in der Schlussphase gar in mehreren Stufen auf eine Höhe von nur 224 km abzusenken. Auch dieses „Bremskraftkompensationssystem“ war wie das Gradiometer selbst eine Neuigkeit und wurde vorher noch nie an einem erdwissenschaftlichen Satelliten erprobt. Der Neigungswinkel der Bahnebene gegenüber der Äquatorebene betrug 96,7 Grad. Man nennt diese Einstellung sonnensynchron, da für diese Neigung die Bahnebene – und damit der Satellit – während der ganzen Mission durch eine langsame Kreiselbewegung im Raum der Sonne zugewandt bleibt. Der Vorteil ist eine optimale Zufuhr von Sonnenenergie, der Nachteil ist, dass ein Gebiet mit einem Öffnungswinkel von 6,7 Grad am Nord- und Südpol der Erde ohne Datenüberdeckung bleibt. Siehe auch (Floberghagen u.a., 2011; Frommknecht u.a., 2011). Die wichtigsten Kenndaten von GOCE sind in der Tabelle zusammengefasst.

Kenndaten von GOCE

GOCE	Gravity and steady-state Ocean Circulation Explorer
Hauptinstrument	dreiachsiges Gravitationsgradiometer
andere Instrumente:	
Bahnbestimmung	geodätischer GPS-Empfänger
Bahnkontrolle	Laserreflektor
Orientierung im Raum	drei Sternsensoren
Kompensation Luftwiderstand	Ionentriebwerke
Missionsdauer	17.3.2009 bis 11.11.2013
Bahnhöhe	255 km Beginnend am 1.8.2012 Absenken der Bahnhöhe in 4 Schritten um 9km, 6km, 5km, 11km auf schließlich eine Höhe von 224km
Bahnneigung	96,7 ⁰ (sonnensynchron)
Bahnexzentrizität	quasi-kreisförmig

Nur über das perfekte Ineinandergreifen aller Messsysteme an Bord von GOCE liesen sich die extremen Genauigkeiten des Gravitationsgradiometers tatsächlich nutzen. Mehr als 40 europäische Firmen waren am Bau des Satellitengesamtsystems beteiligt. Alle Sensoren hatten den Satellitenstart wohlbehalten überstanden und arbeiteten fehlerfrei; eine wahrhaft hervorragende Ingenieurleistung.

Kenndaten der Schwerefeldmodelle DIR5 und TIM5

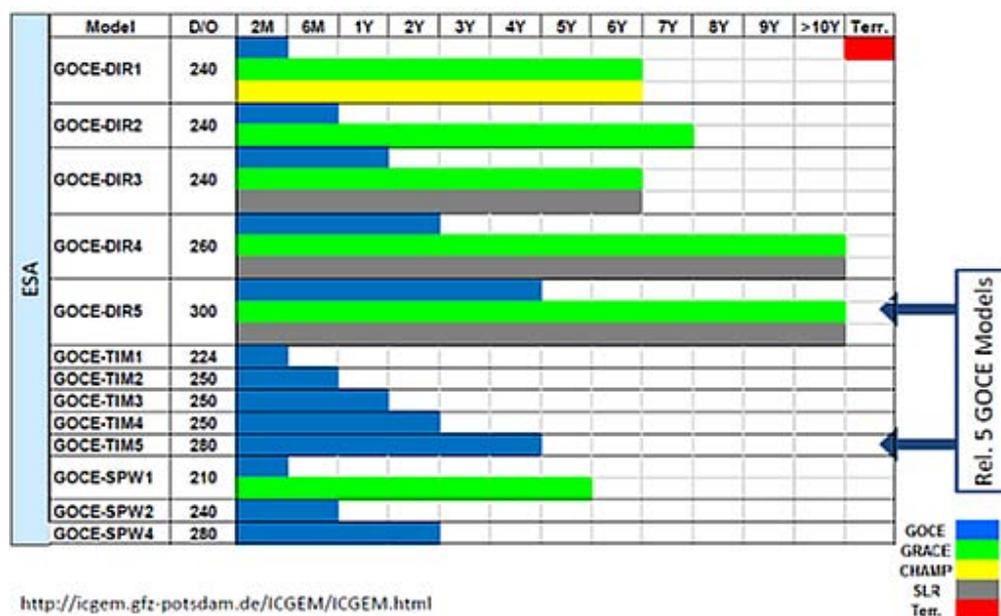
	DIR5	TIM5
Max.Entwicklungsgrad Grad/Ordnung (G/O)	300	280
Datenvolumen	01.11.09 – 20.10.13	01.11.09 – 20.10.13
Gravitationsgradienten	$V_{xx}, V_{yy}, V_{zz}, V_{xz}$	$V_{xx}, V_{yy}, V_{zz}, V_{xz}$
Filterverfahren	Bandpass	ARMA per Datensegment
GOCE SST (GPS)		Short Arc-Methode (G/O 150)
GRACE SST (K-Band)	Jahre 2003 – 2012 GRGS RL03 (G/O) 130)	
LAGEOS 1 & 2 (SLR)	1985 - 2010	
Regularisierung	sphärische Kappe bezogen auf GRACE & LAGEOS Kaula für (G/O > 180)	Kaula (für ein Segment nahe der zonalen Koeffizienten und für G/O >200)

Schwerefeldmodelle

Nach jeweils 61 Tagen hatte GOCE eine gleichmäßige, globale Datenüberdeckung erreicht, die für die Berechnung eines Schwerefeldmodells ausreichte. Zwischen diesen Missionszyklen wurde das Gradiometer kalibriert. ESA veröffentlichte im Laufe der Mission insgesamt fünf Ausgaben der Schwerefeldmodelle, jeweils mit einem zunehmenden Datenvolumen (Brockmann u.a., 2014; Bruinsma u.a., 2014). Die Modelle werden als Sätze von dimensionslosen Kugelfunktionskoeffizienten bis zu einem maximalen Entwicklungsgrad dargestellt. Es gibt dabei eine Modellreihe TIM (für „timewise“), die sich ausschließlich auf GOCE-Missionsdaten stützt und eine Modellreihe DIR (für „direct“), in deren Berechnung

auch GRACE-Daten und SLR-Daten eingehen (vgl. Tabelle oben). Schließlich wurden auch sogenannte SPW-Modelle (für „spacewise“) veröffentlicht, die als globales Geoid- bzw. Schwereanomalienraster angeboten werden (vgl. Tabelle nachfolgend).

Übersicht über die ESA GOCE-Schwerefeldmodelle der Reihen DIR, TIM und SPW



<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html>

<http://earth.esa.int/goce>

Wissenschaftliche Ergebnisse

Es folgt eine sehr knappe Zusammenfassung einiger Ergebnisse der geophysikalischen, ozeanographischen und geodätischen Nutzung von GOCE. Dabei wird auf Abschnitt 4.3.3 „Gravity and steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE)“ in (Kummer u.a., 2014) Bezug genommen.

Schwere- bzw. Geoidanomalien sind ein Maß für das Ungleichgewicht der Erdmassen in Kruste, Lithosphäre und oberem Erdmantel (Alvarez u.a., 2014; Bouman u.a., 2016; Braitenberg, 2015; Ebbing u.a., 2014; van der Meijden u.a., 2015; Panet u.a., 2014). Aus den Schwerefeldmodellen von GOCE wurden neue Modelle der Mohodiskontinuität abgeleitet. Die Mohodiskontinuität ist die Grenzfläche zwischen Erdkruste und Mantel und entspricht der Tiefe des isostatischen Massenausgleichs nach dem Modell von Airy. Ein Vergleich mit der aus der Seismik abgeleiteten Tiefe dieser Grenzfläche erlaubt Schlussfolgerungen zum tatsächlichen Kompensationsmechanismus. Detaillierte Untersuchungen hierzu wurden für Südamerika, Teile Afrikas und Asiens sowie die Antarktis durchgeführt (Reguzzoni & Sampietro, 2015; Shin u.a., 2015). Für diese Regionen konnte mit GOCE nachgewiesen werden, dass das vor GOCE vorhandene Schwerematerial fehler- und lückenhaft ist (Hirt u.a., 2011; Yi & Rummel, 2014). Im zentralen Teil des Himalayas und in der nordindischen Randzone wurden mit GOCE-Gradientendaten erstmals plausible Werte für die elastische Dicke der Lithosphäre ermittelt (McKenzie u.a., 2014). Ebenso neu ist das nun vorliegende Schwere- und Geoidmodell der Antarktis. Es bietet wichtige Aufschlüsse über die geologische Entwicklung, die bisher unter einem mehrere Kilometer dicken Eisschild verborgen lag (Ferraccioli u.a., 2011, Fretwell u.a., 2013, McKenzie u.a., 2015).

Entgegen den ursprünglichen Erwartungen gelang es durch die Kombination von GOCE-Modellen mit GRACE Schwerefeldzeitreihen deren räumliche Auflösung zu erhöhen (Fuchs

u.a., 2013; Garcia u.a., 2013). Das Gradiometersummensignal und das Rückkopplungssignal für die Kompensation des Atmosphärenwiderstands schufen zudem Einblicke in Atmosphärendichte und Atmosphärenwinde (Doornbos u.a., 2013; Gasperini u.a., 2017; Liu u.a., 2016; March u.a., 2017).

Für die Ozeanographie stellt GOCE erstmals ein detailgenaues, globales Geoidmodell zur Verfügung. Die Satellitenaltimetrie, übrigens ein weiteres erfolgreiches geodätisches Messverfahren, liefert seit mehr als 20 Jahren unterbrechungsfrei Messreihen des aktuellen und des mittleren Meeresspiegels. Die Differenz von altimetrischer Meereshöhe und Geoidhöhe ist die dynamische Meerestopographie, d.h. die aktuelle oder mittlere Erhebung der Meeresoberfläche über oder unter dem Geoid. Die Topographiewerte betragen wenige Dezimeter, Maximalwerte von 1m bis 2m werden nur in den Zentren der großen Zirkulationssysteme erreicht, zum Beispiel im Golfstrom, Agulhasstrom, Kuroshiostrom oder im Zirkumpolarstrom. Nur durch die ausnehmend hohe Qualität von Altimetrie und GOCE-Geoidmodell wurde es möglich mit diesem rein geodätischen Ansatz, unabhängig von Ozeanmodellen ein genaues globales Bild der Ozeantopographie zu rekonstruieren. Über eine einfache mathematische Operation folgt aus der Meerestopographie das globale Vektorfeld der geostrophischen Ozeanströmungen. Meerestopographie und Strömungsgeschwindigkeiten sind neue Eingangsgrößen in numerische Ozeanzirkulationsmodelle. Siehe zum Beispiel (Albertella u.a., 2012; Bingham u.a., 2011; Haines u.a., 2011; Janjić u.a., 2012; Knudsen u.a., 2011; Rio u.a., 2013 und 2014; Woodworth u.a., 2015). Sowohl die Berechnungen des Massentransports wie des Wärmetransports in den Ozeanen werden damit verbessert. Sie stellen auch einen wichtigen geodätischen Beitrag zur laufenden Klimadebatte dar.

Analog dem Ansatz, mit dem im Bereich der Ozeane die Meerestopographie aus der Differenz von Meeres- und Geoidhöhe berechnet wird, werden topographische Höhen auf dem Land aus dem „GPS-Nivellement“ abgeleitet. GPS-Nivellement oder (in Anbetracht mehrerer operationeller Satellitennavigationssysteme) korrekter GNSS-Nivellement ist die Berechnung von physikalisch relevanten Gebrauchshöhen aus der Differenz von ellipsoidischer Höhe aus GNSS und Geoidhöhe. Gebrauchshöhen können je nach Festlegung Normalhöhen sein, wie in der Bundesrepublik, orthometrische Höhen, wie in der Schweiz oder geopotentielle Koten, wie bei der Ausgleichung des europäischen Höhennetzes. Die Methode des GNSS-Nivellements wird mittelfristig das klassische Nivellement als primäre Methode der Höhenbestimmung ablösen. In einigen Ländern sind entsprechende Beschlüsse bereits gefasst. Trotz der sehr hohen Genauigkeit des klassischen Nivellements über kurze Abstände, überwiegen die Vorteile des GNSS-Nivellement: In Ländern mit gut entwickelter geodätischer Infrastruktur ist GNSS-Nivellement heute bereits für alle Anwendungen ausreichend genau, großräumig frei von systematischen Verformungen, kostengünstig und sehr effizient. Zusätzlich entstehen an GNSS-Permanentpunkten Zeitreihen, mit denen eventuelle zeitliche Höhenveränderungen nachgewiesen werden können. Bis heute beziehen sich nationale und regionale Höhensysteme auf das Meeresniveau des jeweiligen Bezugspunktes; die offiziellen Höhen der Bundesrepublik (Höhen über Normalnull) zum Beispiel auf den Pegel Amsterdam. Das Bezugsniveau der verschiedenen Höhensysteme unterscheidet sich von Referenzpegel zu Referenzpegel. Daraus resultieren Differenzen zwischen den Höhensystemen der einzelnen Länder im Zentimeter- bis Dezimeterbereich (Gruber u.a., 2013; Woodworth u.a., 2012). Innerhalb Europas wäre eine Vereinheitlichung mit konventionellem Nivellement jederzeit machbar; durch Meeresflächen getrennte Systeme können damit jedoch nicht abgeglichen werden. Die aus GNSS-Nivellement in Kombination mit dem Geoidmodell aus GOCE errechneten Höhen beziehen sich auf eine

global einheitliche Geoidfläche. Entsprechende Schritte zu einer Neuberechnung der Höhennetze werden in USA und Kanada bereits unternommen. Damit entsteht dreierlei: eventuelle Niveauunterschiede zwischen den verschiedenen nationalen Höhensystemen werden nachweisbar, alle Gebrauchshöhen können vereinheitlicht werden und bestehende systematische Verformungen der Höhennetze werden aufgedeckt und können beseitigt werden. Wie in (Gruber u.a., 2013) gezeigt, lassen sich mit diesem Ansatz global die Mittelwasserstände der Weltmeere frei von systematischen Verformungen vergleichen. Einen Vergleich der Mittelwasserstände der an Mitteleuropa angrenzenden Meere mit großangelegten klassischen Feinnivellements verfolgte bereits Helmert (Börsch u.a., 1891, Seibt, 1883). Das für das GNSS-Nivellement verwendete Geoidmodell sollte sich auf die Endergebnisse der GOCE-Mission stützen. Es sollte gleichzeitig eine bestmögliche Kombination darstellen, einerseits mit den anderen Satellitenschwerefeldinformationen (GRACE, Lageos 1&2) und andererseits mit allen weltweit verfügbaren terrestrischen und altimetrischen Schwereanomalien. Vorhandene Datenbestände aus klassischem Nivellement könnten nach wie vor zur Verbesserung der Nachbarschaftsgenauigkeit genutzt werden (Gerlach u.a., 2016).

Literaturverzeichnis

Albertella, A., R. Savcenko, T. Janjić, R. Rummel, W. Bosch, J. Schröter (2012) High resolution dynamic ocean topography in the Southern Ocean from GOCE, *Geophys. J. Int.*, 190, 922–930, doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05531. x.

Alvarez, O., Nacif, S., Gimenez, M., Folguera, A., Braitenberg, C. (2014) GOCE derived vertical gravity gradient delineates great earthquake rupture zones along the Chilean margin. *Tectonophysics* 622, 198–215; doi: 10.1016/j.tecto.2014.03.011.

ARISTOTELES: Proceedings of the Italian Workshop on the European Solid-Earth Mission ARISTOTELES, AERITALIA, Trevi, 1989

Balmino G, D Letoquart, F Barlier, M Ducasse, A Bernard, B Sacleux, C Bouzat, JJ Runavot, X Le Pichon, M. Souriau: Le projet gradió et la détermination a haute resolution du géopotentiél, *Bulletin géodésique*, Vol 58, Issue 2, 151–179, 1984

Balmino G, F Barlier, A Bernard, C Bouzat, R Rummel & P Touboul, Proposal for a Satellite Gravity Gradiometer Experiment for the Geosciences, 168 pages, Toulouse Cedex, 1985.

Bernard A, JP Canny, R Juillerat, P Touboul: Electrostatic suspension of samples in microgravity, *Acta Astronautica*, Vol 12, Issues 7–8, 469-646, 1985

Bingham, R. J., Knudsen P. Andersen O., Pail R. (2011) An initial estimate of the North Atlantic steady-state geostrophic circulation from GOCE. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L01606, doi:10.1029/2010GL045633.

Bock H., A. Jäggi, U. Meyer, P. Visser, J. van den Ijssel, T. van Helleputte, M. Heinze, U. Hugentobler (2011) GPS-derived orbits of the GOCE satellite, *J Geodesy* 85(11): 807-818.

Börsch A., F. Kühnen, F.R. Helmert (1891) Vergleich der Mittelwasser der Ostsee und Nordsee, des Atlantischen Oceans und des Mittelmeeres auf Grund einer Ausgleichung von 48 Nivellements-polygonen in Central- und Westeuropa, Centralbureau der Internationalen Gradmessung, Berlin.

Bouman, J., J. Ebbing, M. Fuchs, J. Sebera, V. Lieb, W. Szwillus, R. Haagmans, P. Novak (2016) Satellite gravity gradient grids for Geophysics, *nature*, *Scientific Reports* 6:21050, DOI: 10.1038/srep21050

Braitenberg, C. (2015) Exploration of tectonic structures with GOCE in Africa and across continents. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.* 35, 88–95; doi: 10.1016/j.jag.2014.013.

Brockmann, J. M., N. Zehentner, E. Höck, R. Pail, I. Loth, T. Mayer-Gürr, W.-D. Schuh: EGM_TIM_RL05 (2014) An independent geoid with centimeter accuracy purely based on the GOCE mission, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 8089–8099, doi:10.1002/2014GL061904.

Bruinsma, S. L., C. Förste, O. Abrikosov, J.-M. Lemoine, J.-C. Marty, S. Mulet, M.-H. Rio, S. Bonvalot (2014) ESA's satellite-only gravity field model via the direct approach based on all GOCE data, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 7508–7514, doi:10.1002/2014GL062045

- Carroll, J.J., P.H. Savet: Gravity difference detection, *Aerospace Engineering*, 18, 44-47, 1959
- Diesel JW: A new approach to gravitational gradient determination of the vertical, *AIAA Journal*, Vol. 2, No. 7, 1189-1196, 1964
- Doornbos E., S. Bruinsma, B. Fritsche, P. Visser, J. v/d Ijssel, J. Teixeira Encarna, M. Kern (2013) Air Density and Wind Retrieval using GOCE Data, *ESA Living Planet*, Edinburgh.
- Ebbing, J., J. Bouman, M. Fuchs, S. Gradmann, R. Haagmans (2014) Sensitivity of GOCE gravity gradients to crustal thickness and density variations – Case study for the Northeast Atlantic Region. *IAG Symposia Series*, Vol. 140., Springer, Heidelberg.
- European Space Agency: Reports for mission selection – The Four Candidate Earth Explorer Core Missions, ESA SP-1233(1), ESA Publication Division, Noordwijk, 1999
- Ferraccioli, F., C.A. Finn, T.A. Jordan, R.E. Bell, L.M. Anderson, D. Damaske (2011) East Antarctic rifting triggers uplift of the Gamburtsev Mountains. – *Nature* 479: 388–392, DOI:10.1038/nature10566.
- Floberghagen R., M. Fehringer, D. Lamarre, D. Muzi, B. Frommknecht, C. Steiger, J. Píneiro, A. Costa (2011) Mission design, operation and exploitation of the gravity field and steady-state ocean circulation explorer mission. *Journal of Geodesy* 85: 749–758, DOI 10.1007/s00190-011-0498-314.
- Forward RL, Geodesy with orbiting gravity gradiometers, *Use of Artificial Satellites for Geodesy*, AGU Monograph No.15, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1972
- Forward RL, LR Miller: Generation and detection of dynamic gravitational-gradient fields, *Journal of Applied Physics* 38, 512, 1967; <https://doi.org/10.1063/1.1709366>
- Fretwell P., H.D. Pritchard, D.G. Vaughan et al. (2013) Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica. *Cryosphere* 7: 375–393
- Frommknecht B., D. Lamarre, M. Meloni, A. Bigazzi, R. Floberghagen (2011) GOCE level 1b data processing. *Journal of Geodesy* 85(11): 759–775, DOI 10.1007/s00190-011-0497-4.
- Fuchs, M.J., J. Bouman, T. Broerse, P. Visser, B. Vermeersen (2013) Observing coseismic gravity change from the Japan tohoku-oki 2011 earthquake with GOCE gravity gradiometry, *J. Geophys. Res.*, 118 (10), 5712–5721.
- Garcia, R. F., S. Bruinsma, P. Lognonné, E. Doornbos, F. Cachoux (2013), GOCE: The first seismometer in orbit around the Earth, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1015–1020, doi: 10.1002/grl.50205.
- Gasperini R., J.M. Forbes, E.N. Doornbos, S.L. Bruinsma (2017) Kelvin wave coupling from TIMED and GOCE: Inter/intraannual variability and solar activity effects, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 120 (7), 5788-5804.
- Gerlach C., T. Gruber, R. Rummel (2016) Höhengsysteme der nächsten Generation; in: Freedden, W., R. Rummel, R. (eds.) *Handbuch der Geodäsie*, Vol. 2016, Springer, ISBN (Online) 978-3-662-46900-2, DOI: 10.1007/978-3-662-46900-2_7-1.
- Gruber T., C. Gerlach, R. Haagmans (2013) Intercontinental height datum connection with GOCE and GPS-leveling data; *Journal of Geodetic Science*, 2(4):270–280. doi: 10.2478/v10156012-0001-y.
- Haines, K., J.A. Johannessen, P. Knudsen, D. Lea, M.-H. Rio, L. Bertino, F. Davidson, F. Hernandez (2011). An ocean modelling and assimilation guide to using GOCE geoid products. *Ocean Science*, 7(1):151-164.
- Helmert FR: *Akademie-Vorträge. Einführung E Buschmann u. Beitrag „Helmerts Arbeiten zur physikalischen Geodäsie“* M & G Harnisch. Verlag des Instituts für Angewandte Geodäsie Frankfurt/M., 1993
- Hirt C., T. Gruber, W. Featherstone (2011) Evaluation of the first GOCE static gravity field models using terrestrial gravity, vertical deflections and EGM2008 quasigeoid heights. *Journal of Geodesy* 85(10):723–740, DOI 10.1007/s00190-011-0482-y
- Janjić, T., J. Schröter, R. Savcenko, W. Bosch, A. Albertella, R. Rummel, O. Klatt (2012), Impact of combining GRACE and GOCE gravity data on ocean circulation estimates, *Ocean Sci.*, 8, 65–79, doi:10.5194/os-8-65-2012.
- Knudsen P., R. Bingham, O. Andersen, M.-H. Rio (2011) A global mean dynamic topography and ocean circulation estimation using a preliminary GOCE gravity model. *J Geod.*, 85, 861–879 DOI 10.1007/s00190-011-0485-8.
- Kummer K., T. Kötter, A. Eichhorn (Hrsg.) (2014) *Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen*, Wichmann VDE Verlag, Berlin.

- Liu H., E. Doornbos, J. Nakashima (2016) Thermospheric wind observed by GOCE: Wind jets and seasonal variations, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 121 (7), 6901-6913.
- March, G., E. Doornbos, P. Visser (2017). CHAMP, GRACE, GOCE and Swarm Thermosphere Density Data with Improved Aerodynamic and Geometry Modelling. Poster session presented at 4th Swarm Science Meeting & Geodetic Missions Workshop, Banff.
- Marussi, A: The tidal field of a planet and the related intrinsic reference systems, *Geophys JR Astr Soc-56*, 409-417, 1979
- Marussi, A: Microgravitation in space, *Geophys JR Astr Soc-76*, 691-695, 1984
- Marussi, A, C Chiaruttini: The motion of a free particle and of a spherical satellite in a circular orbit in a central field, in: Marussi, A: *Intrinsic geodesy*, 179-189, Springer, Berlin, 1985
- McKenzie, D., W. Yi, R. Rummel (2014): Estimates of T_e from GOCE data. *Earth and Planetary Science Letters* 399, 116-127 doi.org/10.1016/j.epsl.2014.05.003.
- McKenzie, D., W. Yi, R. Rummel (2015): Estimates of T_e from Precambrian Shields using GOCE gravity. – *Earth and Planetary Science Letters* 428: 97–107 doi.org/10.1016/j.epsl.2015.07.036.
- Meijden M. v/d, R. Pail, R. Bingham, R. Floberghagen (2015) GOCE data, models, and applications: A review, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35 (2015) 4–15.
- Meissl P: A study of covariance functions related to the earth's disturbing potential, OSU report 151, Columbus 1971
- Moritz, H: Kinematic geodesy, *Deutsche Geodätische Kommission A-59*, München, 1968
- Moritz, H: Inertia and gravitation in geodesy, in: *Proc. 3rd Int Symposium Inertial Technology for Surveying and Geodesy*, Vol I, Banff, 1986
- NASA: Earth and Ocean Physics Applications Program, Volume II Rationale and Program Plans, 1972
- National Research Council: Applications of a dedicated gravitational satellite mission, Panel on gravity field and sea level, Washington D.C., 1979
- Panet, I., G. Pajot-Métivier, M. Greff-Lefftz, L. Métivier, M. Diament, M. Manda (2014) Mapping the mass distribution of Earth's mantle using satellite-derived gravity gradients, *Nature geosciences*, DOI: 10.1038/NGEO2063.
- Reguzzoni M., D. Sampietro (2015) GEMMA: An Earth crustal model based on GOCE satellite data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 35, 31–43.
- Rio M.-H., S. Mulet, N. Picot (2013) New global mean dynamic topography from a GOCE geoid model, altimeter measurements and oceanographic in-situ data, In: *Proc. ESA Living Planet Symposium*, Edinburgh.
- Rio H.-M., S. Mulet, N. Picot (2014): Beyond GOCE for the ocean circulation estimate: Synergetic use of altimetry, gravimetry and in-situ data provides new insight into geostrophic and Ekman currents. *Geophys. Res. Lett.*, 41; 8918–8925, doi:10.1002/2014GL061773.
- Rummel R: Determination of short-wavelength components of the gravity field by satellite-to-satellite tracking or satellite gradiometry: an attempt to an identification of problem areas, *manuscripta geodetica* 4, 107-148, 1979
- Rummel R: Satellite gradiometry. In: Sünkel H (ed) *Mathematical and numerical techniques in physical geodesy*, lecture notes in earth sciences, 7. Springer, Berlin, pp 317–363, 1986. doi:10.1007/BFb0010135
- Savet PH: Gravity field exploration by a new gradient technique, *J Spacecraft*, 6-6, 710-716, 1969
- Seibt, W. (1883) *Gradmessungs-Nivellement zwischen Swinemünde und Amsterdam*, Publication des Königl. Preussischen Geodätischen Instituts, Berlin.
- Selényi, P (ed.): *Roland Eötvös Gesammelte Arbeiten*, Akademiai Kiado, Budapest, 1953
- Shin Y.H., C.K. Shum, C. Braitenberg, S. M.Lee, S-H. Na, K. S. Sun Choi, H. Hsu, Y.-S. Park, M. Lim (2015) Moho topography, ranges and folds of Tibet by analysis of global gravity models and GOCE data, *nature, Scientific Reports*, 5: 11681, DOI: 10.1038/srep11681.
- Touboul, P. (2003) MICROSCOPE instrument development, lessons for GOCE, *Space Science Reviews* 108: 393-408.
- Touboul P., E. Willemenot, B. Foulon, V. Josselin (1999) Accelerometers for CHAMP, GRACE and GOCE space missions: synergy and evolution, *Bolletino Geof. Teor. Appl.* 40, 3-4, 321-327

Wells, WC (ed): Spaceborne gravity gradiometers, Proc. Workshop held at NASA Goddard Space Flight Center, NASA Conference Publication 2305, Greenbelt Md., 1984

Woodworth, P. L., C. Hughes, R. Bingham, T. Gruber (2012) Towards worldwide height system unification using ocean information, J. Geod. Sci., 2, 302–318, doi: 10.2478/v10156-012-0004-8.

Woodworth, P.L., M. Gravelle, M. Marcos, G. Wöppelmann, C.W. Hughes (2015) The status of measurement of the Mediterranean mean dynamic topography by geodetic techniques, J Geod. DOI 10.1007/s00190-015-0817-1.

Yi, W., R. Rummel (2014) A comparison of GOCE gravitational models with EGM2008, Journal of Geodynamics 73, 14-22.

GRACE Follow-on

Mission und Missionsbetrieb

Mit einer Missionszeit von mehr als 15 Jahren hat GRACE dreimal so lange wie ursprünglich geplant Daten geliefert. Dies unterstreicht die hervorragende Arbeit der Airbus Defense & Space (D&S) GmbH, die die beiden Satelliten im Auftrag von NASA/JPL in Deutschland gebaut hat. Daneben hat das Betriebsteam, bestehend aus DLR/GSOC (German Space Operations Center), JPL, CSR, Airbus GmbH und GFZ, das gemeinsam den täglichen Zustand der Satelliten und ihrer Instrumente überwachte, sehr viel unternommen, um die Missionsdauer so lange wie möglich zu verlängern. Bereits seit 2011 zeigten die Batterien auf beiden Satelliten deutliche Alterungserscheinungen, und die Kerninstrumente mussten regelmäßig für begrenzte Zeiträume ausgeschaltet werden. Im Oktober 2017 war die Lebenszeit der Mission dann endgültig beendet, da das Satelliten-Tandem seine Treibstoffvorräte vollständig verbraucht hatte.

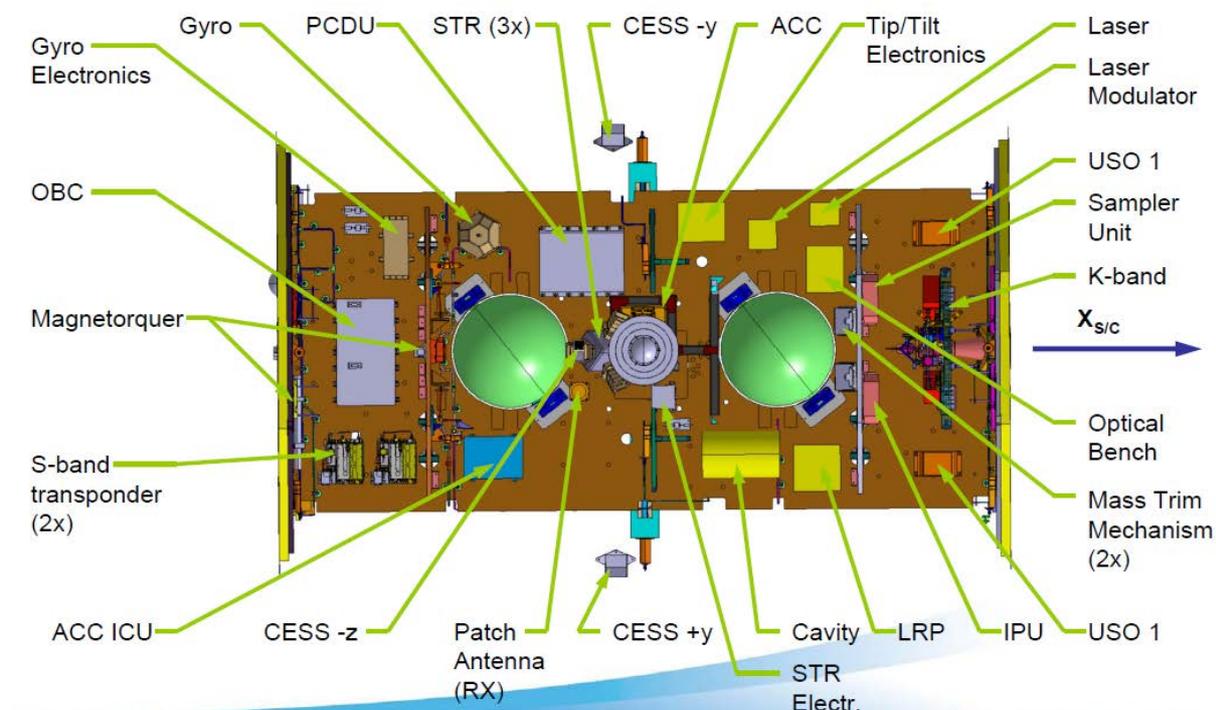


Abb. 15: GRACE-FO Innenleben

Da, wie in den vorigen Abschnitten geschildert, die aus GRACE-Daten abgeleiteten Massentransporte von enormem Nutzen für die Untersuchung vieler klimarelevanter Phänomene sind, diese aber nur durch lange Zeitreihen (möglichst über mehrere Dekaden) mit

der notwendigen Zuverlässigkeit in den Schlussfolgerungen genutzt werden können, haben NASA und GFZ bereits im Jahr 2011 beschlossen, eine Nachfolgemitmission GRACE Follow-On (GRACE-FO) in amerikanisch-deutscher Partnerschaft zu realisieren (Flechtner et al., 2015). Das NASA/ Jet Propulsion Laboratory (JPL) hat, wie bei der GRACE Mission, den Bau der Satelliten bei der Airbus GmbH beauftragt, die Beschleunigungsmesser bei Onera und die Sternensensoren bei der DTU geordert, und das HAIR SST-System, die SGPS-Empfänger und wesentliche Teile (Elektronik, Laser) eines gemeinsamen deutsch-amerikanischen Laser Ranging Interferometers (LRI) eingebracht. Deutschland hat, unter der Verantwortung des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ, die Trägerrakete bereitgestellt, wird den Missionsbetrieb durchführen, sich am gemeinsamen Wissenschaftsdatensystem (SDS) beteiligen und hat wichtige (optische) Beiträge zum LRI geleistet. Die Partnerschaft NASA/GFZ ist in einem Memorandum of Understanding (MOU) festgelegt, die Rollen und Verantwortlichkeiten im gemeinsamen Projekt in einem Cooperative Project Plan (CPP).

Die GRACE-FO Satelliten (Abb.15) haben bis November 2017 alle Bauphasen und Umwelttests erfolgreich durchlaufen. Sie sind anschließend im Dezember 2017 an den Startplatz zur Vandenberg Air Force Base (VAFB) in Kalifornien gebracht und dort mit fünf Satelliten der Iridium-Next Serie für einen gemeinsamen Start mit einer Falcon-9 Rakete der US-amerikanischen Firma SpaceX vorbereitet worden.

Der Start fand erfolgreich am 22. Mai 2018 statt (Abb. 16). Die anschließende Launch and Early Operations Phase konnte bereits nach weniger als drei Tagen abgeschlossen werden und nach ca. 2 Wochen waren alle Instrumente bereits im Betrieb. Während der dreimonatigen In-Orbit Check Out Phase werden nun alle notwendigen Kalibrationsmanöver durchgeführt und in der anschließenden viermonatigen Science Phase die ersten Schwerfelder generiert.



Abb. 16: Erfolgreicher Start der GRACE-FO Mission am 22. Mai 2018 (Foto SpaceX)

Als wichtige Erweiterung der GRACE sehr ähnlichen Instrumentierung wird GRACE-FO ein neuartiges Laser-Ranging-Interferometer (LRI) als Demonstrationsnutzlast für zukünftige Schwerfeldmissionen fliegen. Das LRI (Abb. 17) ist eine deutsch-amerikanische Entwicklung, mit dem die Distanzänderung zwischen den beiden Satelliten gegenüber der Mikrowellenbeobachtung im Idealfall etwa 30 bis 40 Mal genauer beobachtet werden kann. Deutschland trägt zu dieser Erstentwicklung eines satellitengetragenen Laser-Interferometers im Wesentlichen die optischen Komponenten bei (Sheard et al., 2012). Damit wird die Mess-

genauigkeit im Bereich von 80 nm, oder in etwa dem doppelten Durchmesser eines Hepatitis-B-Virus liegen – und dies über einen Abstand, der etwa dem zwischen Potsdam und Hannover entspricht.

Der Missionsbetrieb von GRACE-FO wird für die ersten fünf Jahre durch Eigenanteile des GFZ finanziert und wie bei GRACE durch das DLR/GSOC realisiert. Neu ist, dass die Satellitenempfangsstation des GFZ in Ny-Ålesund auf Spitzbergen (Abb. 18) als primäre Empfangsstation genutzt wird. Dies hat den Vorteil, dass bei jedem Umlauf der Satelliten Kontakt zum Boden besteht und der Zustand der Satelliten damit wesentlich häufiger als bei GRACE kontrolliert werden kann. Die im Routinebetrieb von DLR/GSOC eingesetzten Stationen Weilheim und Neustrelitz haben dagegen nur etwa alle elf Stunden Kontakt zu GRACE-FO, was in Notfallsituationen von Nachteil sein könnte.

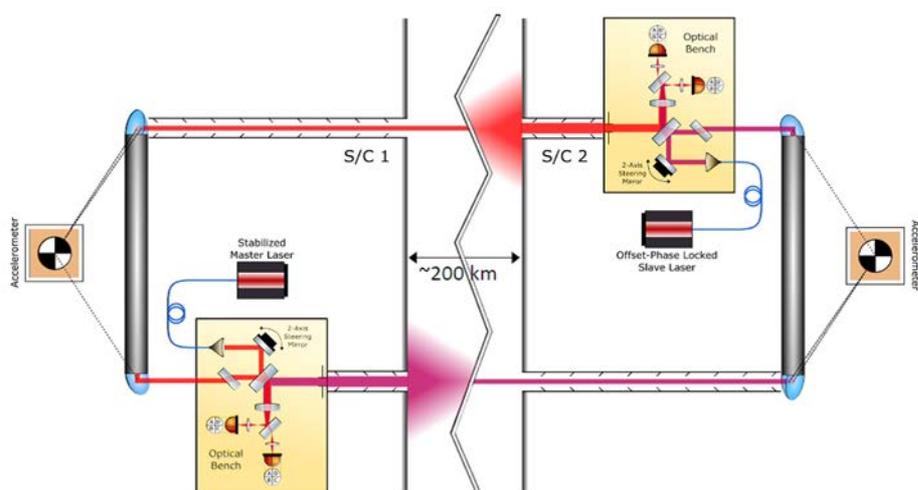


Abb. 17: Schematischer Aufbau des GRACE-FO Laser-Ranging-Interferometers

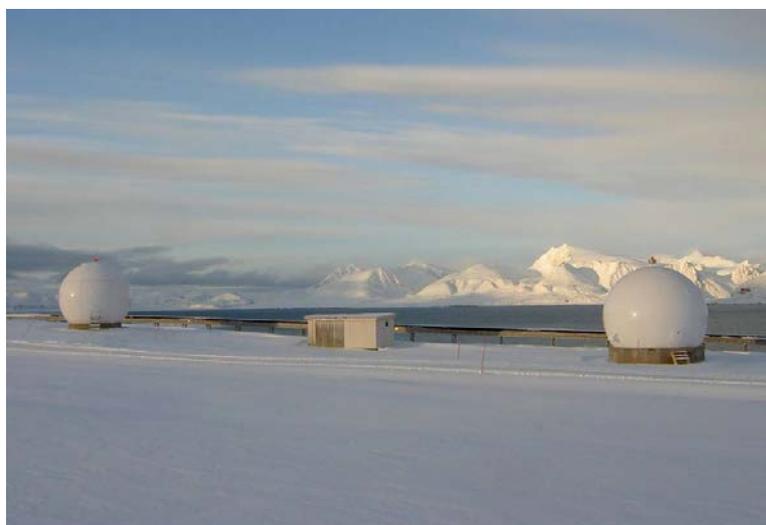


Abb. 18: Die Satellitenempfangsstation Ny-Ålesund mit ihren beiden Antennen
(Foto: Carsten Falck, GFZ)

Die nominelle Lebensdauer von GRACE-FO wird wie bei GRACE wieder fünf Jahre sein. Die sehr guten Erfahrungen bei GRACE lassen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler natürlich bereits jetzt auch von einigen zusätzlichen Lebensjahren träumen. Die Zeitreihe von Veränderungen des globalen Wasserkreislaufs wären dann mindestens 20 Jahre, im günstigsten Fall 30 Jahre lang.

Zukunft

Ein Nachteil des jetzigen GRACE-Konzepts ist, dass lediglich ein Satellitenpaar in einer nahezu polaren Umlaufbahn mit 89° Inklination geflogen wird. Dadurch werden von

GRACE und in Kürze von GRACE-FO die Variationen des Schwerefeldsignals im Wesentlichen nur in Flugrichtung auf Bahnen vom Nordpol zum Südpol beobachtet. Durch diese ungleichförmige Abtastung des Erdschwerefelds (Anisotropie) kommt es zu „Streifen“ in den abgeleiteten Schwerefeldkarten. Diese Störungen lassen sich zwar durch eine Nachbehandlung korrigieren, wobei aber gleichzeitig zusätzliche Fehler generiert werden. Das GRACE-Konzept macht es daher trotz LRI auf GRACE-FO unmöglich, die räumliche und zeitliche Auflösung wesentlich zu verbessern (Flechtner et al., 2016).

Dies wird erst durch sogenannte Next Generation Gravity Missionen (NGGM) möglich sein. Um die Anisotropie zu überwinden, wird beispielsweise vorgeschlagen, neben dem die Polarregionen überfliegenden Satellitenpaar ein weiteres Paar in nur etwa 70° Inklination einzuschleusen. Beide Satellitenpaare könnten mit einem auf GRACE-FO erprobten LRI ausgerüstet sein. Diese sogenannte „Bender-Konstellation“ wurde bereits in Simulationen untersucht (Elsaka et al., 2014). Dabei konnte gezeigt werden, dass die Kombination der Messdaten dieser beiden Satellitenpaare bei Verwendung eines wesentlich tieferen Orbits von etwa 320 km die Genauigkeit der Schwerefeldmodelle um einen Faktor 10 verbessern und gleichzeitig die räumliche Auflösung von 400 km auf 150 km steigern könnte. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die verbesserte Beobachtung der nicht gravitativen Störbeschleunigungen, die auf den Satelliten einwirken und nicht vom Schwerefeld, sondern hauptsächlich durch den (auch in 300 bis 500 km Flughöhe noch vorhandenen) Luftwiderstand der Erdatmosphäre und den Strahlungsdruck der Sonne bedingt sind. Bei GRACE und GRACE-FO werden diese mit einem hochpräzisen Beschleunigungsmesser direkt erfasst. Dieser müsste aber in seiner Genauigkeit weiter verbessert werden. Schließlich müssen die Modelle zur Korrektur von kurzzeitigen (Stunden bis Tage) Massenvariationen in der Atmosphäre und in den Ozeanen weiter verbessert werden. Dazu leistet das GFZ bereits seit Beginn der GRACE-Mission einen wesentlichen Beitrag (Dobslaw et al., 2017).

Literaturverzeichnis

Elsaka, B., Raimondo, J.-C., Brieden, P., Reubelt, T., Kusche, J., Flechtner, F., Iran Pour, S., Sneeuw, N., Müller, J. (2014): Comparing seven candidate mission configurations for temporal gravity field retrieval through fullscale numerical simulation. *Journal of Geodesy*, 88:31–43, doi:10.1007/s00190-013-0665-9.

Flechtner, F., Neumayer, K.-H., Dahle, C., Dobslaw, H., Fagiolini, E., Raimondo, J.-C., Güntner, A. (2016): What Can be expected from the GRACE-FO Laser Ranging Interferometer for Earth Science Applications? *Surveys in Geophysics*, 37:453–470, doi:10.1007/s10712-015-9338-y.

Dobslaw, H., I. Bergmann-Wolf, R. Dill, L. Poropat, M. Thomas, C. Dahle, S. Esselborn, R. König, F. Flechtner (2017): A New High-Resolution Model of Non-Tidal Atmosphere and Ocean Mass Variability for De-Aliasing of Satellite Gravity Observations: AOD1B RL06", *Geophysical Journal International*, <https://doi.org/10.1093/gji/ggx302>

Sheard, B. S., Heinzel, G., Danzmann, K., Shaddock, D. A., Klipstein, W. M., Folkner, W. M. (2012): Intersatellite laser ranging instrument for the GRACE follow-on mission. *Journal of Geodesy*, 86:1083–1095, doi:10.1007/s00190-012-0566-3.

Dokumentenanhang

Dokument 1

HStA Dresden 1: Sächsisches Staatsarchiv. Hauptstaatsarchiv Dresden, 10857 Kommission für die europäische Gradmessung in Sachsen, Nr. 19, 1865.

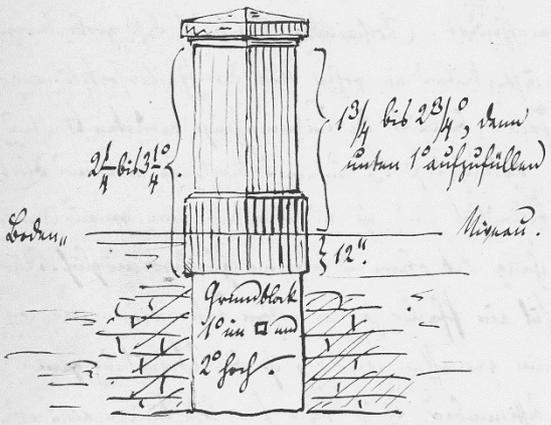
Bericht des unterzeichneten Gradmessungsassistenten Rob. Helmert über seine auswärtige Tätigkeit für die Mitteleurop. Gradmessung im Jahre 1865. Seiten 1, 2, 6, 7, 42, 43 und 44.

Hintergrund

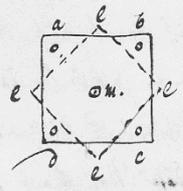
Die sächsischen Gradmessungscommissare, die Professoren Weißbach, Bruhns und Nagel, hatten nach dem Beitritt des Königreichs zur Mitteleuropäischen Gradmessung 1862 alle Aufgaben gemeinsam vorbereitet und bearbeitet. Erst später, Mitte des Jahres 1864, wurden die unterschiedlichen Aufgaben in die alleinige Verantwortung von jeweils einem der drei Commissare gelegt. Prof. August Nagel übernahm als Geodät die Triangulierung Sachsens. Helmert, als sein Gradmessungsassistent, war deshalb fast ausschließlich für die endgültige Erkundung, die Organisation des Stationsbaus und die messtechnische Betreuung der Einrichtung der Pfeilerbauten verantwortlich – sowohl für das Gradmessungsnetz 1. Ordnung als auch für die gleichzeitig mit errichteten Stationen 2. Ordnung, die Königlich Sächsische Triangulierung. Die Pfeiler wurden sehr stabil konzipiert und gebaut. Über 120 der ehemals 158 geplanten und gebauten Punkte der beiden Netze existieren noch heute. Begonnen wurde der Aufbau im Osten Sachsens und fand 1876 mit dem westlichen Anschluss nach Thüringen und Bayern seinen Abschluss. Helmert bekam jährlich eine Legitimation als Gradmessungsassistent vom sächsischen Innenministerium ausgestellt. In der kurzen Zeit zwischen 1864 und 1866 entstanden unter Helmerts Leitung fast 60 Netzpunkte.

Oft führte Helmert die Reisen gemeinsam mit Nagel durch und konnte so viele Erfahrungen für Triangulierungen, insbesondere für die Erkundung, sammeln. Seine akribische Arbeit und die oft sehr unterschiedlichen Bedingungen im Stationsumfeld führten zu vielen Überlegungen, wie man den Aufbau der Steinsäulen und deren geodätische Sicherung sowie die Stabilität der Messungsdurchführung (besonders bei Punkten, die auf Türmen errichtet worden waren) verbessern und ökonomischer gestalten könnte. Gleiches betrifft den Bau und die Ausführung der hölzernen Signalpyramiden über den Steinmonumenten. Diese Erfahrungen teilte er am Ende seines Jahresberichtes mit und fast alle diese vorgeschlagenen Änderungen fanden später in den Bauprogrammen der folgenden Stationen Berücksichtigung.

Die auf Blatt 1 erwähnten 26 Beilagen, die den Aufbau jeder einzelnen Station nochmals im Detail dokumentieren, konnten bisher leider nicht aufgefunden werden.



Grundriß :



vorwärts vorwärts. Die Pfeileransicht gestaltet sich
dabei wie bei Pfeilern. Der Grund wird ein Grundblock
von Granit oder monolithisch Stein (16 Cub. Fuß) 12"
über dem Erdniveau eingemauert. In dessen
Korfüße kommen die 5 unteren Messinge abgedrückt und
einwärts. Der Pfeiler kommt darauf anfall in einem
offen besetzten Messingring, aber überdeckt, um die
Kleinen Messinge fest zu halten. Ist der untere Stein
24" im □ und der Pfeilerfortel 20", so sind die 4 Ecken abgedrückt
in Richtung der Diagonalen $\frac{7}{8}$ Zoll fest, also ist Platz
genügend für die Messingstücke und die Vertiefungen wegen
nur 2 Zoll (e, e, e, e) über dem Grundstein von 2 Zoll
die Pfeilerstabilität nicht gestört ist. Gesehen wird auch
der Pfeiler steigt um, so wird die Lage des
Grundblocks nicht ändern; auf liegt es hier genügend
unter dem Boden, als daß ihm der Abgang etc.
schaden könnte. Natürlich gefordert ist, wenn der untere
Zylinder fest, als im untersten Grundblock 1 1/2' hoch,
bis wohin solches keine äußeren Verankerungsmittel, ein
etwas Anomalousigkeit vorzuziehen, das ist der Grund
sich gründend Vorfall sehr problematisch. - Zu
projekt fallen die Vertikalstein sind, die dort unidirekt
10 Cub. Ellen Mauerwerk erfordert, wenn sie sich fest stellen
wünscht man die üblichen Ausfertigung mit der Mauer-
mauerung des 1. Grundblockes, so sind hier bei völliger
Kleinigkeit des Grundstein nur 5 Cub. Ellen Mauerwerk
nötig. Ebenfalls versteht man, wenn der Ab-
gaben der 4 Vertikalsteine. Die Festhalten des Pfeilers
im Grundstein, aufstellen des Pfeilers in den Ecken
des oberen Zylinders kann, wenn in einem Tage erfolgen,
unmöglich ist, daß alle Ecken im Grundstein und auf dem
im Pfeiler (jedes unter 7/8 Zoll mit) fest gesetzt sind; man

Transkription

Rückblick.

Im Laufe des Jahres wurden vom Unterzeichneten ca. 25 Stationen eingerichtet. Sieht man von denjenigen, die höhere Säulen erforderten ab, so wird man bemerken, daß die Herstellung der kleinen Felsenpfeiler am schnellsten erfolgte, dagegen Pfeiler im gewachsenen Boden immer eine längere Thätigkeit der Arbeiter u. auch von Seiten des Unterzeichneten beanspruchten. Es liegt hieran der Grund in den umständlicheren Gründungs- und Festlegungsarbeiten. Im Durchschnitte ist es unter 2 Tagen nicht möglich, die 4 Seitensteine u. den 1. Grundblock einzulegen (inclus. Grundgraben) und die untere Festlegung zu machen. Das Einlegen und Ummauern der 2. u. 3. Schicht, Aufsetzen des Pfeilers und Bestimmen des obern Cylinders erfordert wieder 2 Tage. In Salzenforst, Wetro und Dubrau unterblieb sogar die Ummauerung der 2. u. 3. Schicht, da darunter ein großer Grundblock gut befestigt worden war, dennoch wurde je 1 ½ Tag inclus. Reise gebraucht und dabei hatte man eingerichtete Arbeiter und alle 3 Punkte nahe beisammen. Erschwerend ist noch, daß die Bestimmung des obern Cylinders bei derartigen Pfeilern mit dem Theodolit, wenigstens in der Regel, zu erfolgen hat. Herr Professor Nagel hat nun angefangen, den untern Cylinder in die 2. Grundsicht statt in der 3. zu versenken. Wollte man hierin noch weiter gehen, und gleich unter dem Pfeiler selbst in die oberste Grundsicht den untern Cylinder einlassen, so würde Manches einfacher werden, die Stationsherstellung u. namentlich die Festlegung sich billiger zeigen, endlich aber der Zweck der untern Festlegung wohl eben so gut noch

- Seitenwechsel im Dokument -

erreicht werden. Die Pfeileransicht gestaltete sich dabei wie beistehend. Im Grunde wird ein Grundblock von Granit oder womöglich Sandstein (16 Cub ! Inhalt)

12" unter dem Bodenniveau eingemauert. In dessen Oberfläche kommen die 5 untern Messinge abcdm und Document. Der Pfeiler kommt darauf einfach in Cement ohne besondere Verzäpfung, aber überecks, um die kleinen Messinge freizulassen. Ist der untere Stein 24" im \square u. der Pfeilersockel 20", so sind die 4 Ecken abcd in Richtung der Diagonalen 7.0 Zoll frei, also ist Platz genug für die Messingprismen u. die Sockelecken ragen nur 2 Zoll (e,e,e,e) über den Grundstein weg, sodaß die Pfeilerstabilität nicht gestört ist. Gesetzt nun auch der Pfeiler stürzt um, so wird dies doch die Lage des Grundblocks nicht ändern, auch liegt er tief genug unter dem Boden, als daß ihm der Ackerpflug etc. schaden könnte. Natürlich gefährdeter ist der untere Cylinder hier, als im untersten Grundblock, $1\frac{1}{2}^\circ$ tief, bis wohin soleicht keine äußeren Zerstörungsmittel, wie etwa Kanonenkugeln, dringen, doch ist der hierauf sich gründende Vortheil sehr problematisch. – Im Project fallen die Seitensteine aus, die doch mindestens 10 Cub. Ellen Mauerwerk erfordern, wenn sie fest stehen sollen u. rechnet man bei der üblichen Ausführung nur die Um-mauerung des 1. Grundblockes, so sind hier bei völliger Einmauerung des Grundsteins nur 5 Cub. Ellen Mauerwerk mehr nöthig. Ebensoviele erspart man, sowie das Aus-graben der 4 Seitenlöcher. Das Festlegen des Punktes im Grundstein, Aufstellen des Pfeilers u. die Bestimmung des obern Cylinders kann nun bequem in einem Tage erfolgen, vorausgesetzt daß alle Löcher im Grundsteine und auch das im Pfeiler (jedoch $\frac{7}{4}$ Zoll weit) schon gebohrt sind, und

- Seitenwechsel im Dokument –

bedarf man dazu keines Theodoliten, der nur die Reise vertheuert. (Nothwendig ist freilich, daß grobe Unregelmäßigkeiten im rohen Theil des Pfeilersockels weg-fallen, die leicht die Seitenmessinge verrücken könnten. Dadurch, daß die unteren 5 Messinge in einem Block befindlich sind, ist zu jederzeit eine genaue Verglei-

chung des obern u. untern Cylinders möglich. Würde sich ein Pfeiler ja im ersten Jahr neigen, (wo noch nie gemessen wird) so ist die Abweichung genau bestimmbar. Es ist sogar für hohe Säulen anzurathen, am Säulensockel 4 Messinge - wie auch bei der Porsbergsäule geschehen - einzulassen, denn auf die Dauer kann man sich kaum auf die 4 Seitensteine verlassen. Dann ist man stets in der Lage, wenigstens das Verhalten dieser Säule über Tage beurtheilen zu können. Während des Baues verändert sich die Wasserlage stets etwas (so wieß der Unterzeichnete für den Gohlig eine Senkung der Säule von dem Momente, wo der Sockelcylinder eingelassen wurde nach) und je tiefer der untere Cylinder liegt, umso eher ist eine Veränderung seiner Lage anzunehmen, da die Massen unter ihm wesentlich er kleiner werden, als die über ihm aufgesetzten. Die Sockelcylinder hoher Säulen haben daher auch mehr Werth, als die untersten (immer mit Ausnahme der Felsengründungen). Der Unterzeichnete bittet schließlich, vorstehende Betrachtung freundlich aufzunehmen und ja nicht als Aufdringlichkeit auszulegen. Es ist dieshalb nur in der Meinung geschrieben, ebenfalls nach Kräften der Sache förderlich sein zu wollen.

Decbr.65.

Rob. Helmert

NB. Bei 1 Elle quadrat. Seitenlänge des Grundblocks und 20" Sockelstärke empfehlen sich als diagonale Entfernungen der Prismen vom Mittel : 13 bis 14", doch müssen dann die Dimensionen ein gehalten werden d.h. 20" darf nicht mehr als 3 bis 4 Zoll überschritten werden u. der Grundblock muß wenigstens 24 Zoll Seitenlänge haben.

Da man den Pfeiler bei dem Verfahren ziemlich genau centrisch stellen kann, so kann der Steinmetz die obere Vertiefung, aber etwa $7/4$ " weit mit anbringen. (die größte vorhandene Excentricität des oberen Cylinders beträgt überhaupt erst $3/4$ Zoll).

Dokument 2

UA Leipzig: Universitätsarchiv Leipzig. UAL Phil. Fakultät. Promotion 1102, 3 Blatt, 1867 und 1868.

Dokumente zum Promotionsverfahren von Friedrich Robert Helmert in den Jahren 1867 und 1868 an der Universität Leipzig.

Schreiben des Dekans der Philosophischen Fakultät der Universität Leipzig vom 18. November 1867 an die mathematisch-naturwissenschaftliche Sektion zum Antrag auf Promotion durch Friedrich Robert Helmert. eine Seite

Beurteilung von Helmerts Promotionsschrift durch Professor Bruhns am 2. Dezember 1867. zwei Seiten

Antrag Helmerts auf mündliche Prüfung vom 5. Januar 1868. eine Seite

Hintergrund

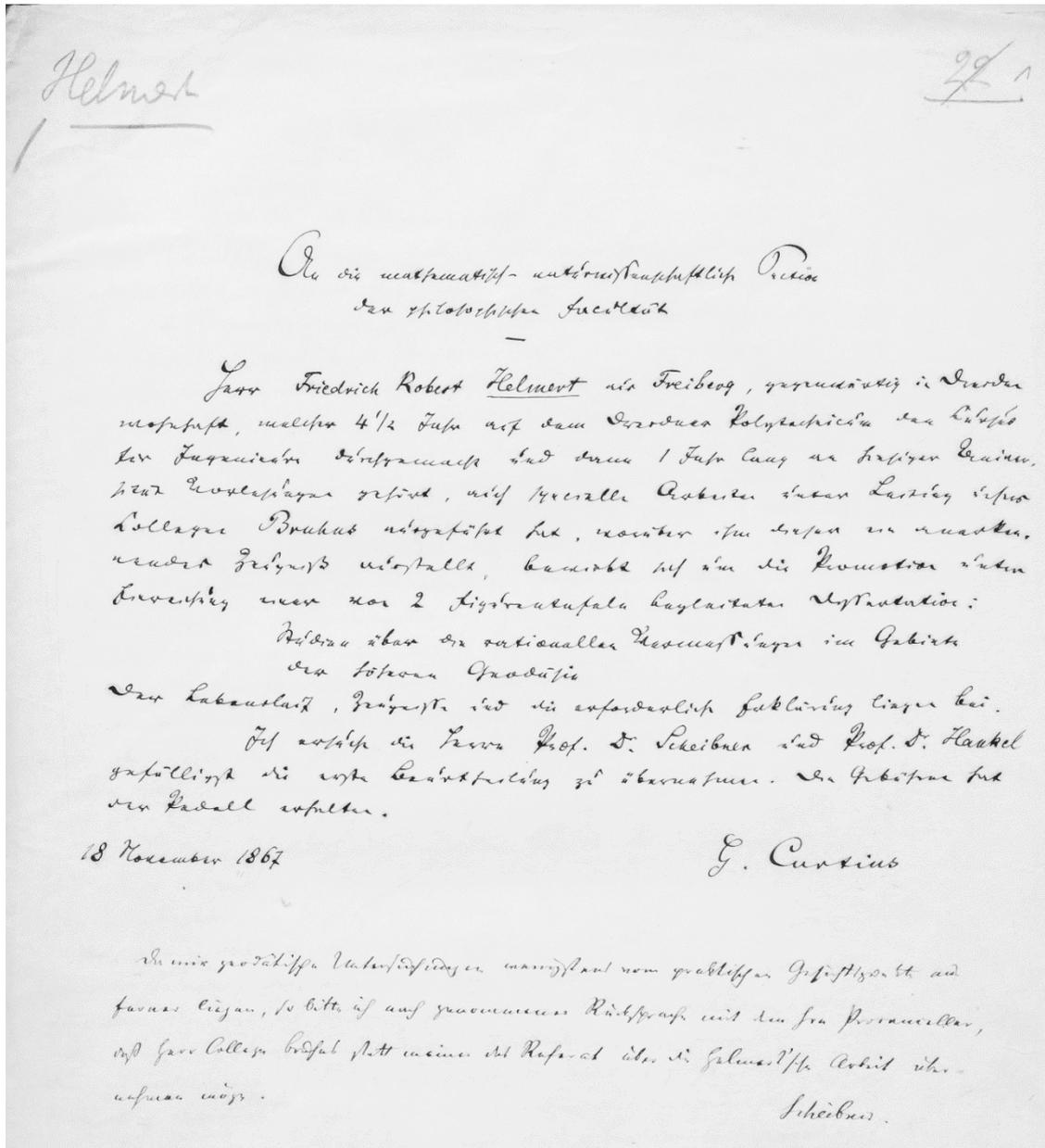
Der deutsche Krieg 1866 unterbrach für einige Monate die kontinuierliche Arbeit an der Gradmessung im Königreich Sachsen. August Nagel empfahl Helmert, in dieser Zeit seine Studien an einer Universität zu vervollkommen.

Helmert hatte mit seiner Ausbildung an der Polytechnischen Schule in Dresden und seiner Tätigkeit für die sächsische Gradmessung umfangreiche theoretische und praktische Kenntnisse auf dem Gebiet der Geodäsie gesammelt und konnte diese umfassend anwenden. Um eine wissenschaftliche Laufbahn einschlagen zu können, war ein Abschluss an einer Universität wichtig. Er schrieb sich im Alter von 23 Jahren im Wintersemester 1866/67 und später auch für das Sommersemester 1867 an der Universität in Leipzig ein. In der Matrikelkartei wird Helmert vom 5. November 1866 bis 12. September 1867 als Student geführt, am 14. September 1867 wird ihm das Abgangszeugnis ausgestellt. Als finanzielle Absicherung konnte er sein Reisestipendium vom Ende der Ausbildung in Dresden nutzen. In Leipzig wohnte er in der Blumengasse 3a.

Seine ebenfalls hauptsächlich in dieser Zeit entstandene Dissertation reicht Helmert am 13. November 1867 an der philosophischen Fakultät der Universität Leipzig ein. Diese wird am 18. November 1867 angenommen und zur Beurteilung an die Professoren Scheibner und Hankel weitergegeben.

Professor Wilhelm Scheibner (1826-1908) studierte an den Universitäten Bonn und Berlin Mathematik und war seit 1856 außerordentlicher und ab 1868 ordentlicher Professor für Mathematik in Leipzig. Er befasste sich mit Analysis, Geometrie, Zahlentheorie und Algebra. Professor Wilhelm Gottlieb Hankel (1814-1899) war von 1849 bis 1889 ordentlicher Professor für Physik in Leipzig. Sein wissenschaftliches Tätigkeitsfeld umfasste die thermoelektrischen Eigenschaften von Kristallen. Beide Professoren waren Mitglied der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaft.

Es kann angenommen werden, dass Helmerts Thema die erste Promotion mit einem geodätischen Fachbezug an der Universität in Leipzig war.



Transkription

An die mathematisch – naturwissenschaftliche Section
der philosophischen Facultät

Herr Friedrich Robert Helmert aus Freiberg, gegenwärtig in Dresden
wohnhaft, welcher 4 1/2 Jahre auf dem Dresdner Polytechnicum den Coursus
für Ingenieure durchgemacht und dann 1 Jahr lang an hiesiger Univer –
sität Vorlesungen gehört, auch specielle Arbeiten unter Leitung unsers
Kollegen Bruhns ausgeführt hat, worüber ihm dieser ein anerken –
nendes Zeugnis ausstellt, bewirbt sich um die Promotion unter
Einreichung einer von 2 Figurentafeln begleiteten Dissertation:

Studien über die rationellen Vermessungen im Gebiete

der höheren Geodäsie.

Der Lebenslauf, Zeugnisse und die erforderliche Erklärung liegen bei.

Ich ersuche die Herrn Prof. D. Scheibner und Prof. D. Hankel gefälligst die erste Beurtheilung zu übernehmen. Die Gebühren hat der Pedell erhalten.

18 November 1867

G. Curtius

Da mir geodätische Untersuchungen wenigstens vom praktischen Gesichtspunkt aus ferner liegen, so bitte ich nach genommener Rücksprache den Herrn Procancellar, daß Herr College Bruhns statt meiner das Referat über die Helmert'sche Arbeit übernehmen möge.

Scheibner

Transkription (Dokument nachfolgend)

Die Abhandlung des Herrn Helmert ist eine gute und eine fast ganz neue Arbeit, indem der Gegenstand vor ihm noch fast gar nicht behandelt ist. Im Allgemeinen ist sie eine Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf geodätische Probleme.

Der erste Abschnitt „Über die Genauigkeit eines Punktes im Allgemeinen“ zeigt, dass der Verfasser mit der Methode der kleinsten Quadrate sehr vertraut ist und auch die Geometrie der Ebene, sowie die Differential- und Integralrechnung anzuwenden weiß. Er behandelt die Fehler bei Richtungsbeobachtungen auf geometrischem Wege und stellt die wahrscheinlichen Abweichungen zweier Graden durch ähnliche Ellipsen um den wahrscheinlichsten Ort dar. Er behandelt die Genauigkeit eines Punktes bei Angabe mehrerer von einander unabhängiger Graden und stellt die Maaße der Genauigkeiten in Formeln dar, erwähnt das Wort „Gewicht“ freilich nur ein einziges mal, führt aber richtig aus, daß die Gewichte als proportional den Quadraten der Maaße der Genauigkeiten – wofür er der Kürze wegen das Wort „Präcision“ gebraucht – sich leicht finden lassen. Einige kleine Unrichtigkeiten z.B. pag. 6 Zeile 4 v. U. h_0 statt h , pag 10 c^2 statt c , pag 21 2 Wurzel p statt p Wurzel 2 u. s. w. ferner pag. 31 das Wort Absolutglied, außerdem pag 15 die nicht ganz richtige Definition des mittleren Fehlers sind theils Schreibfehler, theils kleine Nachlässigkeiten, die leicht zu verbessern sind.

Der zweite Abschnitt „Über das Einschalten von Netzpunkten in ein größeres bekanntes trigonometrisches Netz“ ist eine interessante Darstellung

über den Vortheil der Pothenot – schen Aufgabe in der niederen Geodäsie, eine Darstellung wie sie meines Wissens noch nie gemacht ist und die auf mathematischem Wege die große Genauigkeit zeigt, welche bei Anwendung des Einschneidens von Nebenpunkten auf die Hauptpunkte gegen die umgekehrte Methode erreicht wird. Bei den Beispielen hebt der Verfasser vielleicht nicht genug hervor, daß die Resultate nur genäherte sind und das Verschreiben von AC, C_2B statt AC, BC_2 pag 51 und das Fehlen der Buchstaben H und P in den Figuren 8 und 10 sind kleine Nachlässigkeiten, auf die ich aufmerksam machen zu müssen verpflichtet bin.

Der dritte Abschnitt „Zur Theorie der Basisnetze“ ist mit großem Fleiße bearbeitet, er enthält wie der vorhergehende eine Anwendung der im ersten Abschnitt abgeleiteten Formeln. Der Verfasser beweist aus den von ihm abgeleiteten Formeln, daß die bisher auf rein empirischem Wege gefundene günstigste Form der Basisdreiecke auch wirklich im Allgemeinen die günstigste Form ist. Er geht aber noch weiter und giebt in der Vermehrung einzelner Winkelmessungen ein Mittel an, um noch günstigere Resultate als bisher zu erreichen.

Der vierte Abschnitt „Über die günstigste Vertheilung der Haupt-

- Seitenwechsel im Dokument –

punkte eines großen Dreiecksnetzes“ ist wie der Verfasser sagt etwas dürftig ausgefallen, er begründet aber doch durch Formeln die in neuester Zeit bei Gradmessungen bereits angewandten Prinzipien daß man nämlich nicht mehr Dreiecke an Dreiecke, sondern Polygone bei Herstellung von Dreiecksnetzen verwendet. In diesen Abschnitten sind weniger kleine Nachlässigkeiten und außer einigen Schreibfehlern erwähne ich nur, daß pag 97 bei den Formeln die Nummern 70_a , 70_b fehlen.

Die Arbeit ist aber immer als eine sehr gute Studie Anzusehen, sie ist eine Förderung der Wissenschaft, und kann meines Erachtens der durchgestrichen Verfasser auf Grund derselben promovirt werden.

Leipzig d. 2. December 1867.

Dr. C. Bruhns

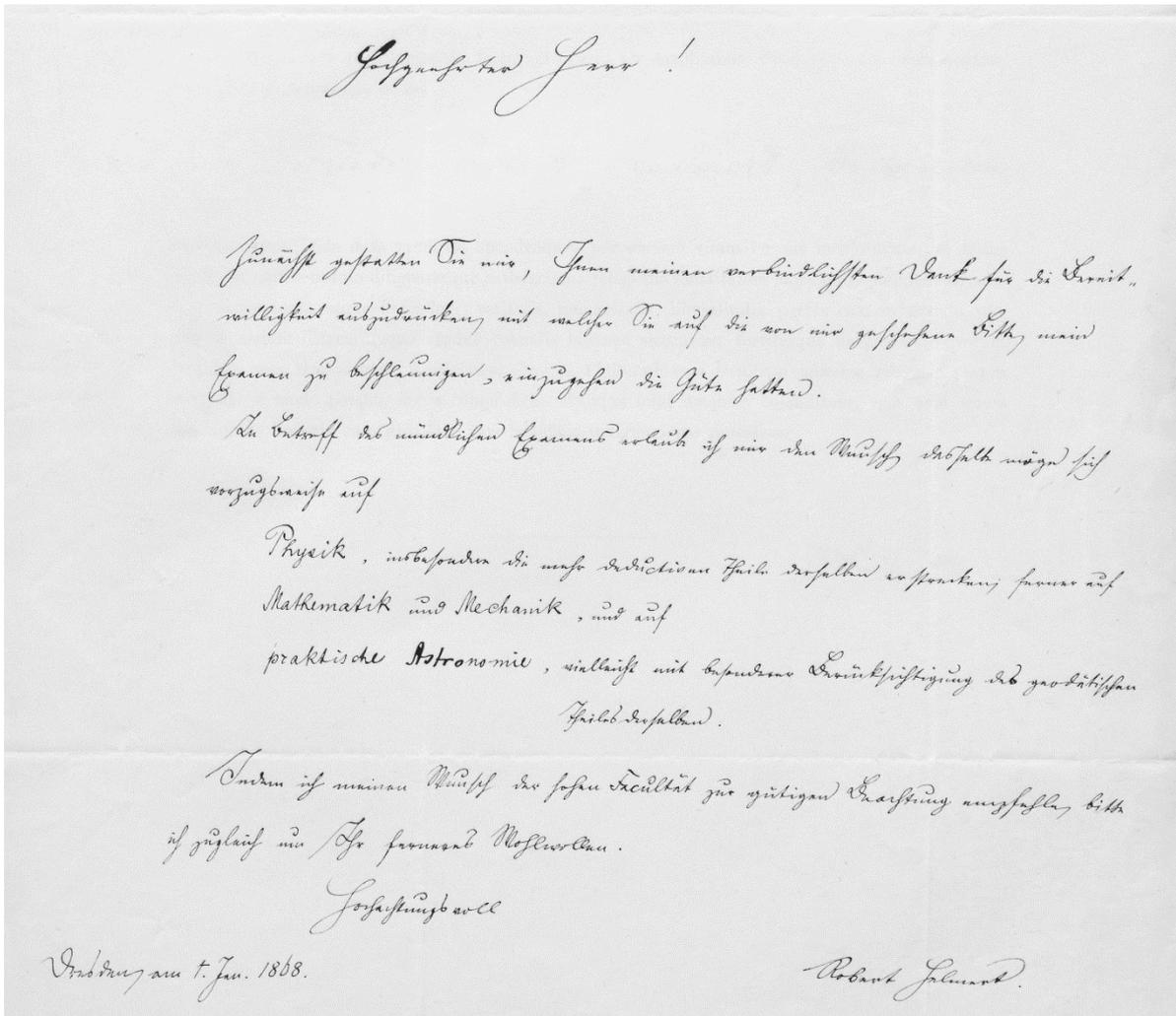
Die Aufwindung des Jaron Helmer ist nicht ganz mit mir fast
genau mein Arbeit, indem der Gymnasium vor ihm auch fast ganz nicht liegen.
Sollt ist. Zu Allgemeinern ist für eine Auswindung des Aufwindung
kritikrechnung auf geschichtliche Grundlagen.

Der erste Abschnitt, über die Genauigkeit eines Punktes im Allgemeinern,
nennt zeigt, daß der Hauptteil mit der Maßzahl des kleinsten Abwinkels
fast verbunden ist und auf die Genauigkeit des Abwinkels, sowie die Differential-
und Integralrechnung zurückzuführen ist. Er behandelt die Fälle bei
Rechnungsabweichungen auf geometrischen Wegen und stellt die wichtigsten
Lösungen abweichungen zumeist Grundes durch einfache Rechenregeln und durch
wichtigsten Teil der. Er behandelt die Genauigkeit eines Punktes
bei Angabe mehrerer von einander unabhängigen Größen und stellt
die Maße der Genauigkeiten in Formeln dar, wobei das Wort
"Genauigkeit" häufig mit ein einziges mal, findet aber auch, daß die Genauigkeit
als geometrischer dem Abwinkeln der Maße der Genauigkeiten verhalten
ist der Größe des Wort "Genauigkeit" gebraucht. Es laßt finden lassen.
Einer kleinen Genauigkeiten z. B. pag. 6 Zeile 4 u. 11. 10 stellt 6,
pag 10 C^2 stellt 6, pag 21 $2V_9$ stellt $9V_2$ u. s. w. sowie
pag. 31 das Wort Abwinkeln, während pag 15 die nicht ganz richtige
Definition des mittleren Wertes sind durch Abwinkeln, durch kleine
Rechenregeln, die laßt zu verstehen sind.

Der zweite Abschnitt, über die Eigenschaften von Maßzahlen in einer
größeren bekannten trigonometrischen Maßzahl ist eine interessante Darstellung
über den Hauptteil der Rechenregeln in der niederen Geometrie,
eine Darstellung von ein einziges mal, auf die genau ist und
die auf mathematischen Wegen die große Genauigkeit zeigt, welche bei
Anwendung des Hauptteils von Nebenmaßzahlen auf die Hauptzahlen ge-
gen die ungenügende Maßzahl vorzuziehen wird. Bei den Hauptzahlen selbst
der Hauptteil enthält nicht geringe Fehler, daß die Hauptzahlen mit
genügender sind und der Hauptteil von A, B, C stellt A, B, C
pag 51 und die Zahlen der Hauptzahlen H und P in der Folge
8 und 10 sind kleine Rechenregeln, die ist ungenügend genau zu
nehmen verstanden sein.

Der dritte Abschnitt, über die Eigenschaften der Hauptzahlen ist mit großer
Genauigkeit bearbeitet, er enthält wie der vorhergehende eine Anwendung der
im ersten Abschnitt abgeleiteten Formeln. Der Hauptteil beweist
mit den von ihm abgeleiteten Formeln, daß die Hauptzahlen auf eine
genügende Weise gefundenen günstigsten Form der Hauptzahlen
sind wirklich die Allgemeinern die günstigste Form ist. Er geht
aber auch weiter und geht in der Hauptrechnung einzelnen Rechen-
regeln eine Mittel an, um auf günstigere Resultate ab-
zulassen zu lassen.

Der vierte Abschnitt, über die günstigste Aufwindung des Haupt-



Transkription

Hochgeehrter Herr !

Zunächst gestatten Sie mir, Ihnen meinen verbindlichsten Dank für die Bereitwilligkeit auszudrücken, mit welcher Sie auf die von mir geschehene Bitte, mein Examen zu beschleunigen, einzugehen die Güte hatten.

In Betreff des mündlichen Examens erlaube ich mir den Wunsch, dasselbe möge sich vorzugsweise auf

Physik, insbesondere die mehr deductiven Theile derselben erstrecken, ferner auf Mathematik und Mechanik, und auf praktische *Astronomie*, vielleicht mit besonderer Berücksichtigung des geodätischen Theils derselben.

Indem ich meinen Wunsch der hohen Facultät zur gütigen Beachtung empfehle, bitte ich zugleich um Ihr ferneres Wohlwollen.

Hochachtungsvoll

Dresden, am 4. Jan. 1868.

Robert Helmert.

Dokument 3

Hirsch, A. (Hrsg.): *Verhandlungen der achten Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung und deren Permanenten Commission*, Verlag Reimer, Berlin, 1887.

Beilage XIII: Bericht über den Fortschritt der Arbeiten der Internationalen Erdmessung, Königreich Sachsen

Karte im Anhang des Bandes mit der Graphischen Darstellung der Lothabweichungen in der Umgegend von Leipzig

Hintergrund

Berichterstatler auf der Allgemeinen Konferenz in Berlin 1886 war Prof. August Nagel, Gradmessungscommissar im Königreich Sachsen. Er schreibt zu den Arbeiten:

„Die durch astronomische Beobachtungen auf diesen Punkten erhaltenen Polhöhen und Azimuthe (diese wurden alle von Helmert bestimmt) sind bereits ... mitgetheilt worden. Da nun durch das Netz II. Ordnung auch die gegenseitigen Entfernungen dieser Punkte bekannt geworden sind, ist es möglich, die Polhöhen und Azimuthe von der Pleißenburg ausgehend auch geodätisch zu ermitteln und so auf etwa vorhandene Lothablenkungen zu schliessen.“

Die geodätische Übertragung auf die fünf Stationen im Umfeld Leipzigs erfolgte mit der Polhöhe und dem Azimut von der Pleißenburg aus und es wurden relative Lotabweichungen berechnet.

„Wenn man die Lage der fünf Punkte gegen Leipzig B (Pleißenburg) in der Karte betrachtet und damit die ... gefundenen relativen Lothabweichungen vergleicht, kann man eine gewisse Gesetzmässigkeit nicht verkennen. Die Uebersicht wird erleichtert, wenn man die Resultate ... graphisch darstellt und zwar durch äquidistante Parallelen gleicher Lothabweichungen. Um diejenige Lage der Parallelen, die den gefundenen Lothabweichungen am Besten entspricht, zu ermitteln, wird das Azimuth A der Achse des Parallelensystems, welches dasselbe rechtwinklig durchschneidet, nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt.“

Die Berechnung und Ausgleichung der Azimute ist in der Beilage ausführlich dokumentiert.

„Von den aus der Ausgleichung hervorgegangenen Azimuthen A und A' der Abscissenachsen ausgehend lassen sich in Verbindung mit ... dem Zuwachs der Lothabweichungsdifferenzen pro Kilometer die diesbezüglichen Verhältnisse leicht darstellen.“

Eine solche Darstellung ist in der Folge der Anregung des Herrn Prof. Dr. Th. Albrecht in Berlin auf dem ... Kärtchen gegeben. ... Dieses Kärtchen kann unmittelbar dazu dienen, für je zwei Punkte innerhalb des Polygons der mehrerwähnten fünf Stationen die geodätisch ermittelten Polhöhen- oder Längendifferenzen in astronomische zu verwandeln, ohne Rücksicht darauf zu nehmen, wo die Punkte innerhalb des Polygons liegen. ...

Der stark ausgeprägte Verlauf der Lothablenkungen muss um so mehr überraschen, als das ganze untersuchte Gebiet dem norddeutschen Flachlande angehört und selbst die weitere Umgebung von Leipzig nur so unbedeutende Bodenerhebungen aufzuweisen hat, dass a priori eine die Beobachtungsfehler überschreitende Differenz der Lothabweichungen zweier Punkte des untersuchten Gebietes nicht zu erwarten war.“

Dokument 4

ABBAW 1: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv, Historische Abteilung 1812-1945, Arbeitsstelle Venusdurchgänge, Nr. 12, Personalia, 1872-1874, Beleg 11.

Brief F. R. Helmerts vom 12. Oktober 1872 an die Kommission für die Vorbereitung der Beobachtung des Venusdurchgangs 1874 (an Prof. Auwers?).

Hintergrund

In den Jahren 1874 und 1882 bestand die Möglichkeit, die Entfernung der Erde zur Sonne mit der Beobachtung des Venustransits erstmals nach 1769 wieder auf diese astronomische Weise zu bestimmen. Die fortgeschrittene Beobachtungstechnik setzte große wissenschaftliche Erwartungen in die Ereignisse, von denen allerdings der Transit am 9. Dezember 1874 für astronomische Beobachtungen eher ungünstig war. Längere Durchgangszeiten für den Transit waren vorrangig im südlichen Indischen Ozean zu verzeichnen.

Vom Norddeutschen Bundeskanzleramt wurde eine Kommission für die Vorbereitung der Beobachtung des Venusdurchgangs von 1874 berufen, die vom 25. bis 29. Oktober 1869 erstmals in Berlin tagte. Als Kommissare waren berufen worden: Peter Andreas Hansen (1795 – 1874), Direktor der Sternwarte in Gotha, Friedrich Wilhelm August Argelander (1799 – 1875), Direktor der Sternwarte in Bonn, Friedrich Paschen (1804 – 1873), Hofrat, Astronom und Geodät aus Schwerin, Karl Christian Bruhns (1830 – 1881), Direktor der Sternwarte in Leipzig, Wilhelm Foerster (1832 – 1921), Direktor der Sternwarte in Berlin, Arthur von Auwers (1838 – 1915), Astronom und Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften sowie Friedrich August Theodor Winnecke (1835 – 1897), Astronom in Karlsruhe. Als Präsident der Kommission wurde Hansen gewählt, als Schriftführer fungierten Auwers und Winnecke.

Da sich der originale Brief Helmerts im Bestand des Archivs der Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften befindet, kann man annehmen, dass er an Professor Arthur von Auwers in seiner Funktion als Schriftführer der Kommission gerichtet worden ist. Es ist auch zu vermuten, dass man sich erhofft hatte, Helmert als Expeditionsleiter zu gewinnen.

Die Expedition wurde 1874 nach dem Kerguelen-Archipel im subarktischen südlichen Indischen Ozean ausgesandt und stand unter der Leitung von Karl Börgen (1843 – 1909), der vor der Expedition als Observator an der Sternwarte Leipzig tätig war. Die Teilnehmer und Ausrüstungen wurden vom Forschungsschiff SMS Gazelle (ein für eine mehrjährige Forschungsfahrt umgerüstetes Marine-Schiff) nach den Kerguelen gebracht und nach den erfolgreichen Beobachtungen bis nach Mauritius mitgenommen.

11

Ostfriesen den 12. October. 1872.

Herrn Professor.

Auf Ihre werthe Aufgabe vom Anfang d. M., ob ich an einer der Expeditionen zur Beobachtung des Wintergangs der Meeres- und der Lufttemperatur im Jahre 1873 Theilnehmen sollte, muß ich nach genauer Erwägung aller Umstände zu meinem Bedauern sehr unwillig antworten und bitte zugleich um Entschuldigung, daß ich Sie wohl dadurch unversehrt habe, indem ich nicht früher mündlich zu dem Herrn Prof. Dr. Siegel mit abgemacht hätte, an den Beobachtungen Theil zu nehmen. Das große Vertrauen, welches mich beehren wird, verpflichtet es mich, wenn ich erlaube, daß zur Abklärung in aller Eile ein die Rückfrist auf meine persönliche Bewegung hat. Bei dem Mangel hinreichend gebildeter Beobachter würde es nicht leicht sein, für die Dauer der Expedition mit der Herbeiführung einer passenden Ballonstation zu gewinnen. Auf diese vorübergehende, wenn immerhin für die Hunderttausende ein Kostspiel durch gewisse des dreijährigen Cursum über praktische Geometrie nicht zu unterschätzen, ein Aufwand, der unentbehrlich bei einer jungen Luftschiffahrt-Veranstaltung unabweisbar mit persönlicher Aufopferung müßig ist, weil ich nicht Befriedigung an der Erfüllung meiner Lusthaftigkeit finde. Ich glaube Sie, Herr Professor, nicht länger mit Aufsehung der niederen Gründe, da auf meinem Luftschiff Luftschiff

gesehen haben, befalligen zu dürfen, da diese allein demselben nicht farbei-
 geseht haben würden. Überdies wird es mir immer bleiben, daß die
 Anfertigung von der Philologie zu einer so interessanten und folgenreichen
 Arbeit beigetragen zu sein.

Ich verbleibe mit Frau und den ganzen Commissionsmitgliedern mit
 der Versicherung des Dankes für das mir erwiesene Gastrecht.

Gefährdungswelle

arguable

Dr. F. R. Helmert.

Nach muß ich hinzufügen, daß zu solchen geeigneten Personen, denen zu unserer
 Verfügung mir nicht bekannt sind.

v. O.

Transkription

Aachen, den 12. Octbr. 1872.

Hochgeehrter Herr Professor.

Auf Ihre werthe Anfrage vom Anfang d. M., ob ich an einer der Expeditionen zur Beobachtung des Vorüberganges der Venus vor der Sonne im Jahre 1874 theilnehmen wolle, muß ich nach genauer Erwägung aller Umstände zu meinem Bedauern doch verneinend antworten und bitte zugleich um Entschuldigung, daß ich Sie wohl dadurch umsonst bemüht habe, indem ich mich früher mündlich gegen Herrn Prof. Bruhns nicht abgeneigt zeigte, an den Beobachtungen Antheil zu nehmen. Das große Vertrauen, welches mir bewiesen wird, rechtfertigt es wohl, wenn ich anführe, daß zur Ablehnung in erster Linie mich die Rücksicht auf meine hiesige Stellung bewogen hat. Bei dem Mangel theoretisch gebildeter Geodäten würde es nicht leicht sein, für die Dauer der Expedition und der Vorarbeiten eine passende Stellvertretung zu gewinnen. Auch diese vorausgesetzt, wäre immerhin für die Studirenden ein Nachtheil durch zerreißen des dreijährigen Cursus über praktische Geometrie nicht zu vermeiden, ein Umstand, der namentlich bei einer jungen Lehranstalt Beachtung verdient und mir persönlich besonders wichtig ist, weil ich viel Befriedigung an der Erfüllung meiner Lehrthätigkeit finde. Ich glaube Sie, hochgeehrter Herr Professor, nicht länger mit Aufführung der niedern Gründe, die auf meinen Entschluß Einfluß

gehabt haben, behelligen zu dürfen, da diese allein denselben nicht herbeigeführt haben würden. Schmerzlich wird es mir immer bleiben, durch die Verhältnisse von der Theilnahme an einer so interessanten und folgenschweren Arbeit ausgeschlossen zu sein.

Ich empfehle mich Ihnen und den geehrten Commissionsmitgliedern mit der Versicherung des Dankes für das mir erwiesene Vertrauen.

Hochachtungsvoll

ergebenster

Dr. F. R. Helmert.

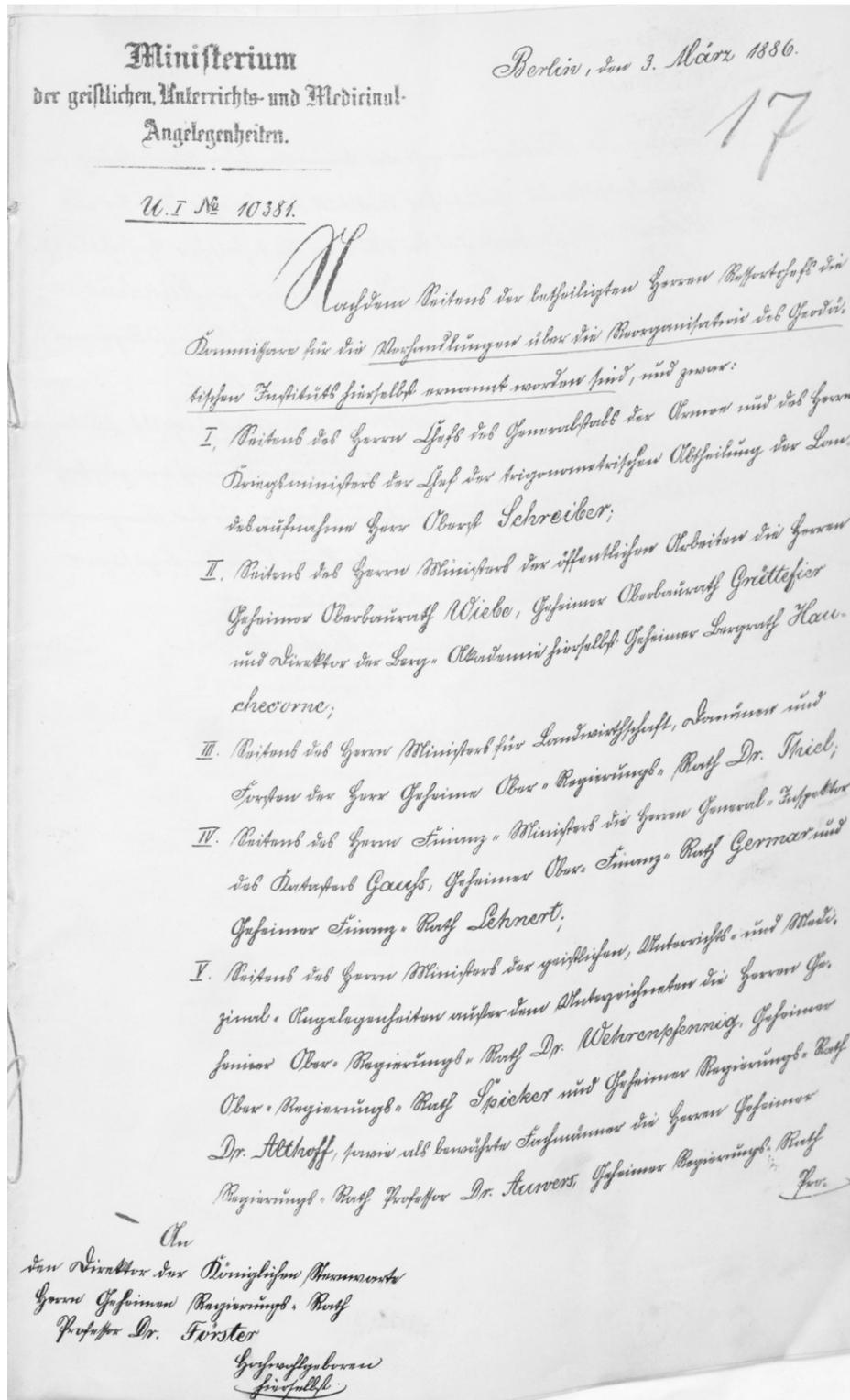
Noch muß ich hinzufügen, daß zu Gehülften geeignete Personen, etwa an unserer Schule, mir nicht bekannt sind.

d. O.

Dokument 5

ABBAW 2: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv, Historische Abteilung 1812-1945, Sternwarte Babelsberg, Nr. 206, Internationale Organisation der Gradmessungsarbeiten, 17, 1884-1888.

Verhandlungen über die Reorganisation des Geodätischen Instituts. Berlin, 15. März 1886. Einladung, Entwurf der Grundzüge der Reorganisation und Spezialisierung des Geschäftsbereichs des Geodätischen Instituts.



Obwohl die Ergebnisse der von der Deutschen Akademie der Wissenschaften
 für die Ergebnisse und Ergebnisse sollen in Zukunft immer wichtiger
 werden. Die Ergebnisse der von der Deutschen Akademie der Wissenschaften
 für die Ergebnisse und Ergebnisse sollen in Zukunft immer wichtiger
 werden. Die Ergebnisse der von der Deutschen Akademie der Wissenschaften
 für die Ergebnisse und Ergebnisse sollen in Zukunft immer wichtiger
 werden.

Derzeitige Zustand wird für die, die von der Deutschen Akademie der Wissenschaften
 für die Ergebnisse und Ergebnisse sollen in Zukunft immer wichtiger
 werden. Die Ergebnisse der von der Deutschen Akademie der Wissenschaften
 für die Ergebnisse und Ergebnisse sollen in Zukunft immer wichtiger
 werden.

Handwritten notes:
 4. Dem Deutschen Institut soll ab jetzt nicht...
 ...
 ...
 ...

4. Dem Deutschen Institut soll ab jetzt nicht...
 ...
 ...
 ...
 ...

Zusätzlich soll ab jetzt nicht...
 ...
 ...
 ...
 ...

von Mitgliedern der Akademie der Wissenschaften bestätigt sein möge. (Vgl. von
yon das Kaiserliche Dekret 1.)

5. Die durch geistliches Fürsorgeamt mit der Landes- Kirchenverwaltung
bestandene Verbindung des geistlichen Fürsorgeamtes soll der Leitung und
Verwaltung der weltlichen Orte und Pfarren, Bestimmungen und
der weltlichen Bestimmungen durch Amtsbefugnisse und durch die
Rechtswirkung der weltlichen Verfügungen und durch die
eigenen Verfügungen der Landesverwaltungen der Provinzen und
abwärtigen und weltlichen weltlichen und weltlichen Verfügungen zu
Güte kommen.

Dies soll der Fürsorgeamt sein Amtsbereich in jedem Ort als bisher
bestanden ist, weltliche oder weltliche Verfügungen aber die
zuständigsten Verfügungen der weltlichen Verfügungen
mit dem die weltlichen Landes- Verwaltungen, Rechte zu sein sollen,
auszuführen, und die Verfügungen weltlichen Recht in diesem
Zusammenhang zu sein und die Verfügungen weltlichen Verfügungen
bestehen zu sollen. (Vgl. von dem Kaiserlichen Dekret 2.)

6. Die weltlichen Verfügungen der Verfügungen der Verfügungen
eigener Verfügungen und Verfügungen in weltlichen Verfügungen
sind von dem weltlichen Amt bestätigt sein, die weltlichen Verfügungen
und die Verfügungen bei Potsdam in der Provinz der Verfügungen
dieser Verfügungen zu sein, und die Verfügungen sind die Verfügungen
geistlichen Fürsorgeamt in jedem Verfügungen sein. Allerdings sind
ab in diesem Falle die Verfügungen von Verfügungen und
Verfügungen bestätigt sein.

7. Das geodätische Institut wird die vornehmlichsten Aufgaben, nicht bloß für Preussen, nicht ungenügend stellen können, ohne seine Forschungen mit Hilfe der auch in andern Ländern niedergelassenen analogen Abteilungen nicht nur mit der Gehaltsaufkündigung u. s. w. der Landesvermessungs Ämter und geographischen Landesvermessungen, sondern vielmehr der ganzen Geodäsie zuwenden.

In diesem Sinne wird das Institut - nicht nur die bisher mit ihm verbundenen Landesvermessungen der internationalen Geodäsie vor sich zu bringen -, wenn man nur einen Augenblick auf die bisher schon vorhandenen internationalen Verhältnisse bei der Vermessung und Abgrenzung geodätischer Gebiete u. s. w. schaut, fast unzulässige Aufgaben. Und man bisher behalt.

Es wird aber der höchste Weg sein, den Mittelpunkt der geodätischen Forschung in Berlin zu stellen, wenn das geodätische Institut in nächster Zeit seine wissenschaftlichen Thätigkeiten in größtem Maße weiterführt, wenn so viel als es bewirkt werden und definitiv von dem Organ der internationalen Vereinigung mit dem Einverständnis des Landvermessungsamtes bekannt werden.

Alles was der Teil des Generaldirektors der Bayerischen geographischen Landesvermessung der internationalen Organisation übergeben werden sollte, ist zu erwarten, daß die unmittelbare Wirklichkeit dieses Instituts, insbesondere für alle Leistungen bei der Ausbildung der Organisationsverhältnisse und der Leitung derselben schon immer zu einer Zeit gegeben wird, die sich in nächster Zeit hervorzuheben und der Aufmerksamkeit besonders zuwenden.

Abhang 1.

Das Geodätische Institut ist von allem Vermöglichen, einschließlich der
Landschaften, und Binnland zu verbinden.

Darmit ergibt sich für den Generalstab die Befähigung, seine Auf-
gaben mitgeteilt den von der Geographischen Gesellschaft festgesetzten
Normen anzuschließen, und seine Leistungen und Leistungen bezüglich
der letzten Kultur zu messen. Es wird zu diesem Zweck in den Ver-
sammlungen der Geographischen Gesellschaft angetreten sein.

Überdies hat über die Landvermessung der Binnlande des Geodä-
tischen Instituts in den möglichsten Grenzen Befähigung zu bringen.
Ebenfalls wird die Richtung der Vermessungsarbeiten, etwaiger Aufschub
zu vermeiden und die Kosten, in welcher die Befähigung erzielbar zu La-
sung für wissenschaftliche Zwecke bewirkt zu stellen sind, im Voraus zu be-
stimmen. Die Richtung der Landvermessung der Binnlande wird
wissenschaftliche Bestimmungen, Bestimmungen und Befähigung man-
nigfachen Art zu ergänzen.

Es soll ist ab dem Geodätischen Institut einig festgestellt, dass
Landschaften mit Apparaten für Landschaften, Binnland, Ver-
messung und Binnland anzuschließen, und die die Befähigung der Ver-
messung für den Generalstab von Binnland, Befähigung zusammen
bringen, im Voraus zu bestimmen mit dem Hof der Landvermessung zu
berichten.

Die zu ergänzenden Bestimmungen der Binnlande des Geodä-
tischen Instituts, im Voraus zu bestimmen etwaiger Zusammenfassung
Bericht zu

hauptsächlich Anordnungen von der direkten Führung zwischen
dem Hof der Landesverfassung und dem Direktor des Geodätischen
Instituts zu überlassen sind.

Ist aber die Aufrechterhaltung von Arbeiten, die sich dem gemeinen,
von Arbeitshälften liegen, einer Führung zwischen dem gemeinen
Landes Hof zu beziehen, so entspricht der Bedeutung des Landesverfassung,
aufmerksam zu sein.

Protokoll 2.

175

Spezialbesprechung des Aufsichtsausschusses vom Geodätischen Institut.

§. 4 des Statuts des Geodätischen Instituts vom 22. September 1877 lautet als die Aufgabe des Instituts die Pflege der wissenschaftlichen Geodäsie und die Ausführung der für die geographische Vermessung innerhalb des Preussischen Reiches hiesig erforderlichen Arbeiten.

Insoweit der letztere §. 4 das von Statut Spezialbesprechungen des Aufsichtsausschusses vom:

1. die Ausführung wissenschaftlicher, für die Vermessung erforderlicher Triangulationen und Präzisionsmessungen,
2. die astronomische Bestimmung von Polhöhen, Azimuten und Längen, insbesondere für die Geographischen und geodätischen Aufnahmen,
3. die Bestimmung der Genauigkeit der Messungen aus den erforderlichen Mitteln,
4. die Ausführung unterrichtlicher Vorlesungen und organisatorischer Anordnungen im Interesse der Vermessung.
5. Der Aufsicht bleibt die Entscheidung des Aufsichtsausschusses auf die Bestimmung wissenschaftlicher Konstanten.

Demnach sind die Aufgaben des Instituts als die unter 1 und 5 bezeichneten fest zu setzen, weil dieselben im Einklang mit dem königlichen Landesaufsichtsausschuss stehen, während die unter 2, 3 und 4 bezeichneten Aufgaben dem Aufsichtsausschuss vorbehalten sind, insbesondere für die Bestimmung der Genauigkeit der Messungen, die Bestimmung der Konstanten und die geographischen Bestimmungen der Aufnahmen vorbehalten sind.

Die

Uebersichtswissenschaft sei der Hauptbestandtheil des Zustandes eines Landes, und die mit der Staatspolitik, nach der Erfüllung eines Landesbedürfnisses zusammenhängend. Jedoch kann bei der Festsetzung in Rücksicht auf den Wunsch der Staatsverwaltung mit unterschiedlichen zeitlichen Veränderungen befaßt werden.

Die Uebersichtswissenschaft des Staatsbedürfnisses ist demnach in folgende Theile zu zerlegen, sind in unterschiedlichen Theilen der folgenden:

1. Uebersichtswissenschaft des Staatsbedürfnisses:

- a, Uebersichtswissenschaft des Hauptbestandes der geographischen Landesbestimmungen,
- b, Uebersichtswissenschaft der Landesbestimmungen für die Verwaltung des Staats,
- c, Uebersichtswissenschaft der Landesbestimmungen geographischer Landesbestimmungen für die Hauptstädte, an der geographischen Karte,
- d, Uebersichtswissenschaft der Landesbestimmungen in möglichst großer Anzahl zur Bestimmung der Größe der Bevölkerung (mathematische Berechnung),
- e, Uebersichtswissenschaft der Landesbestimmungen für die Hauptstädte,
- f, Uebersichtswissenschaft der Landesbestimmungen,
- g, Uebersichtswissenschaft der absoluten Festsetzung der Bevölkerung auf einen Hauptstädte,
- h, Uebersichtswissenschaft der Landesbestimmungen für die übrigen Hauptstädte, für, und für die Verwaltung des Staats als Grundlage der Verwaltungswissenschaften,
- i, Uebersichtswissenschaften für die Verwaltungswissenschaften,
- k, Uebersichtswissenschaften in Rücksicht auf die Grundbestimmungen der Landesbestimmungen (Cooperation).
- l, Uebersichtswissenschaft des Bestandes der Oeffen und Provinzen von der Landesbestimmungen

Reinhold

Dieses mittelst Beobachtungen von Fingern und Abwägungen.

- iii, Besondere Verbindung der astronomischen Bestimmungen mit den geo-
metrischen Bestimmungen der Landvermessungen,
iv, Zusammenfassung der Ergebnisse der verschiedenen Operationen von
numerischen Methoden in der Geographie der Gebirge und der Länder, Aufstellung
der Figuren der Erde, insbesondere in Europa, und eine die Wichtigkeit der Verhältnisse
der Gebirge.

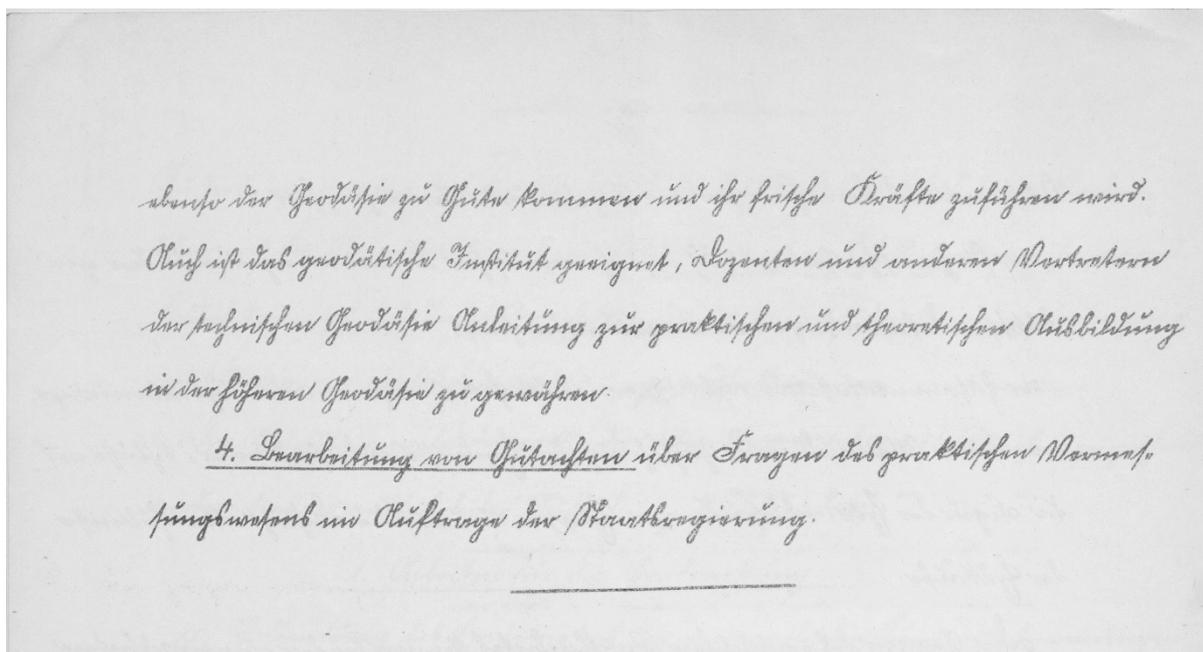
Die Fragen der geometrischen Beobachtung können bei den astronomischen
geometrischen Arbeiten berücksichtigt werden, insbesondere Bestimmungen zum Vergleich mit
den entsprechenden der Beobachtung von anderen Seiten.

2. Arbeiten in Zukunft der Art der wissenschaftlichen Arbeiten:

- a, Prüfung der verschiedenen Beobachtungen,
b, Untersuchung über die Wichtigkeit der Bestimmungen der Gebirge und der
Verhältnisse der Gebirge,
c, Prüfung eines Beobachters und Aufwandes für Beobachtungsbestimmung, die
Abmessung, Höhenmessung u. dergl.
d, Vergleichung von Beobachtungen und Untersuchung von Beobachtungen der Gebirge
eine zeitliche Veränderung der Gebirge und der Höhenmessung,
e, Untersuchung der allgemeinen Gebirge.

3. Zusammenfassung.

Durch diese Verbindung mit der Astronomie wird die geometrische Genauigkeit
der Bestimmungen der mathematischen und physikalischen Disciplinen Gelegenheit
sein, die bisherige geometrischen Probleme hervorzuheben und geometrisch lösen zu können,
und für die Lösung der mathematischen Probleme von Nutzen ist und



Transkription

Ministerium

Berlin, den 3. März 1886.

der geistlichen, Unterrichts- und Medicinal-
Angelegenheiten

U.I No 10381.

Nachdem seitens der beteiligten Herren Ressortchefs die
Kommission für die Verhandlungen über die Reorganisation des Geodä-
tischen Instituts hierselbst ernannt worden sind, und zwar:

- I. seitens des Herrn Chefs des Generalstabs der Armee und des Herrn
Kriegsministers der Chef der trigonometrischen Abtheilung der Lan-
desaufnahme Herr Oberst S c h r e i b e r;
- II. seitens des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten die Herren
Geheimer Oberbaurath W i e b e, Geheimer Oberbaurath G r ü t t e f i e r
und Direktor der Berg-Akademie hierselbst Geheimer Bergrath H a u -
checorne;
- III. seitens des Herrn Ministers für Landwirtschaft, Domänen und
Forsten der Herr Geheime Ober-Regierungs-Rath D r. T h i e l;
- IV. seitens des Herrn Finanz- Ministers die Herren General-Insprktor
des Katasters G a u ß, Geheimer Ober-Finanz-Rath G e r m a r und
Geheimer Finanz-Rath L e h n e r t;
- V. seitens des Herrn Ministers der geistlichen, Unterrichts- und Medi-
zinal-Angelegenheiten außer dem Unterzeichneten die Herren Ge-
heimer Ober-Regierungs-Rath D r. W e h r e n p f e n n i g, Geheimer

Ober-Regierungs-Rath S p i e k e r und Geheimer Regierungs-Rath
 D r. A l t h o f f, sowie als bewährte Fachmänner die Herren Geheimer
 Regierungs-Rath Professor D r. A u w e r s, Geheimer Regierungs-Rath

An

den Direktor der Königlichen Sternwarte

Herrn Geheimen Regierungs-Rath

Professor D r. F o e r s t e r

hochwohlgeboren

hierselbst.

- Seitenwechsel im Dokument -

Professor D r. F o e r s t e r, der mit der kommissarischen Verwaltung der
 Präsidialgeschäfte des Geodätischen Instituts beauftragte Professor D r.

H e l m e r t aus Aachen und dder Direktor der technischen Hochschule Ge-
 Heim Rath Professor D r. v o n B a u e r n f e i n d zu M ü n c h e n;

Ersuche ich Ew. Hochwohlgeboren hiermit ganz ergebenst, sich gefälligst am

M o n t a g den 15. M ä r z d. Js. Vormittags 10 Uhr

Im großen Sitzungssaale des Kultus-Ministeriums hierselbst Unter den

Linden No 4 zu einer Konferenz einzufinden, indem ich mir zugleich

gestatte, von den Grundzügen, welche einstweilen für die Reorganisation
 des Geodätischen Instituts entworfen sind, ein Exemplar beizufügen.

Der Ministerialdirektor.

Wirkliche Geheime Rath.

Greiff

- Seitenwechsel im Dokument -

Entwurf

der Grundzüge für die Reorganisation des Geodätischen Instituts.

1. Die Direktion wird wie beim Meteorologischen Institut mit einer ordent-
 lichen Professur an der Universität verbunden, welcher Vorlesungen über al-
 le Probleme, Methoden und Ergebnisse, betreffend die Bestimmung der Ge-
 stalt des Erdkörpers und die Anordnung der Massenvertheilung in dem-
 selben, sowie über die Aufgaben und Methoden der Landes-Aufnahme über-
 tragen werden. Hierdurch wird der wissenschaftliche Beruf des Instituts mehr#
 als bisher in den Vordergrund gestellt und zugleich die Aufrechterhaltung
 der internationalen Beziehungen erleichtert.

2. Der wissenschaftliche Beirath wird aufgehoben, da derselbe, wenn ein Ge-
 lehrter an der Spitze des Instituts steht und dieses Universitäts-Anstalt
 wird, keine r a i s o n d' e t r e mehr hat.

3. Der Wettstreit zwischen dem Geodätischen Institute und der Landes-

Aufnahme hört auf. Zwar behält das Geodätische Institut nach wie vor die Aufgabe, die Gestalt und die Massenordnungs-Verhältnisse der Erde sowie die etwaigen Abänderungen aller dieser Zustände durch Verbindung der Ergebnisse von Triangulirungen und Nivellirungen mit Bestimmungen der geographischen Länge und Breite der Dreieckspunkte sowie der astronomischen Orientierung der Dreiecksseiten und mit Messungen der Wirkungen der Massen-Anziehungen und Schwungkkräfte, endlich mit Hilfe von Maaß-Vergleichungen im weitesten Sinne zu erforschen.

- Seitenwechsel im Dokument -

Aber die Ergebnisse der von der Preußischen Landes-Aufnahme ausgeführten Triangulirungen und Nivellirungen sollen in Zukunft ihrem wirklichen Werth entsprechend bei den wissenschaftlichen Untersuchungen des Geodätischen Instituts gehörig benutzt werden, wodurch für das Institut die Aufgabe wegfällt, Triangulirungen und Nivellirungen zu Erdmessungszwecken selbst auszuführen.

Vorausgesetzt wird hierbei, daß von Seiten der Landes-Aufnahme den Wünschen und Bedürfnissen, welche das Geodätische Institut bei diesen Forschungen in Betreff der Anordnung und der Genauigkeit der Triangulirungen und Nivellirungen im Wege der Verständigung geltend zu machen hat, thunlichste Berücksichtigung zu Theil wird.

4. Dem Geodätischen Institute soll es jedoch nicht benommen sein, zu solchen bestimmten wissenschaftlichen Zwecken, für welche die Landesaufnahme die erforderlichen Grundlagen nicht oder nicht allein zu gewähren vermag, sowie überhaupt im Sinne experimenteller und kritischer Förderung der Genauigkeit oder der Oekonomie der bezüglichen Veranstaltungen und Methoden auch Triangulirungs- und Nivellirungsarbeiten – sei es ganz selbstständig, sei es in Gemeinschaft mit der Landes-Aufnahme auszuführen.

Indessen soll es unbedingt vermieden werden, die Ergebnisse solcher selbstständigen Triangulirungs- oder Nivellirungs-Arbeiten des Institutes irgendetwie derartig zu veröffentlichen, daß sie die Autorität und Homogenität der veröffentlichten Ergebnisse der Landes-Aufnahme den beteiligten praktischen Interessen gegenüber beeinträchtigen könnten. In streitigen Fällen entscheidet der Vorsitzende des Centralvermessungs-Direktoriums, des-

- Seitenwechsel im Dokument -

sen Mitglied der Direktor des Geodätischen Instituts sein muß. (Vgl. wegen des Näheren Anlage 1.)

5. Die durch gehöriges Zusammenwirken mit der Landes-Aufnahme eintretende Entlastung des Geodätischen Institutes soll der Belebung und Erweiterung der astronomischen Orts- und Richtungs-Bestimmungen und der dynamischen Bestimmungen durch Pendelbeobachtungen und dgl. im Sinne einer auch für geologische Fragen und Montan-Interessen wichtigen Erforschung der Besonderheiten der Massenvertheilung unter der Erdoberfläche und ähnlicher wissenschaftlicher und wirthschaftlicher Aufgaben zu Gute kommen.

Auch soll das Institut sein Augenmerk in höherem Grade als bisher darauf richten, rechnerische oder experimentelle Untersuchungen über die zweckmäßigste Gestaltung der verschiedenartigen Vermessungsarbeiten, mit denen die einzelnen Landes-Vermessungs-Ressorts zu thun haben, anzustellen, um auf Erfordern geeigneten gutachterlichen Rath in dieser Beziehung ertheilen zu können und auch für diese Aufgaben tüchtige Kräfte aus-

bilden zu helfen. (Vgl. wegen des Näheren Anlage 2.)

6. Für alle vorerwähnten Aufgaben des Instituts ist die Herstellung geeigneter Diensträume und Einrichtungen unerlässlich. In dieser Beziehung wird an dem früheren Plane festzuhalten sein, die erforderlichen Baulichkeiten auf dem Telegraphenberg bei Potsdam in der Nähe des Astrophysikalischen Observatoriums zu errichten, wo die Bedingungen auch für das Geodätische Institut in jeder Beziehung günstig sind. Allerdings wird es in diesem Falle auch der Einrichtung von Dienstwohnungen und Bureau-Räumen bedürfen.

- Seitenwechsel im Dokument -

7. Das Geodätische Institut wird die vorerwähnten Aufgaben, auch bloß für Preussen, nicht angemessen erfüllen können, ohne seine Forschungen mit Hilfe der auch in anderen Ländern ausgeführten analogen Messungen nicht nur auf die Gestaltverhältnisse u. s.w. der benachbarten Deutschen und Europäischen Länder, sondern vielmehr der ganzen Erde auszudehnen.

In diesem Sinne wird das Institut – auch wenn das bisher mit ihm verbundene Centralbureau der internationalen Gradmessung von ihm getrennt werden sollte -, wenn man von einer Anzahl von ihm bisher übernommenen internationaler Hilfsleistungen bei der Sammlung und Vertheilung geodätischer Publikationen u. s. w. absieht, sonst denselben Aufgabenkreis wie bisher behalten.

Es wird aber der sicherste Weg sein, den Mittelpunkt der geodätischen Forschung dauernd an Berlin zu fesseln, wenn das Geodätische Institut in nächster Zeit seine wissenschaftlichen Untersuchungen in größtem Style weiterführt, ganz so als ob es bereits dauernd und definitiv von den Organen der internationalen Vereinigung mit den Funktionen des Centralbüreaus betraut wäre.

Selbst wenn der Tod des Generallieutenants Bayr die gegenwärtige Form dieser internationalen Organisation vorübergehend auflösen sollte, ist zu erwarten, daß die eminente Nützlichkeit dieses Zusammenwirkens für alle Betheiligten bald wieder eine Neubildung der Organisation herbeiführen und daß dann die Leitung derselben sicher einer Institution zufallen wird, die sich in nächster Zeit hervorragend thätig und der Gesamtheit förderlich erweist.

Anlage 1.

Das Geodätische Institut ist von allem Trianguliren, einschließlich der Basismessungen, und Nivelliren zu entbinden.

Daraus ergiebt sich für den Generalstab die Nothwendigkeit, seine Messungen entsprechend den der Europäischen Gradmessung festgesetzten Normen auszuführen, und seine Erfahrungen und Ansichten bezüglich der letzteren geltend zu machen. Er muß zu diesem Zwecke in den Versammlungen der Europäischen Gradmessung vertreten sein.

Außerdem hat aber die Landesaufnahme den Wünschen des Geodätischen Instituts in den möglich weitesten Grenzen Rechnung zu tragen.

Insbesondere wird die Richtung der Hauptdreiecksketten, etwaiger Anschlüsse an dieselben und die Form, in welcher die Messungsergebnisse zur Benutzung für wissenschaftliche Zwecke bereit zu stellen sind, im Einverständniß mit dem Geodätischen Institute festzusetzen sein. Andererseits wird

auch dieses in der Lage sein, die Arbeiten der Landesaufnahme durch wissenschaftliche Untersuchungen, Bestimmungen und Versuche mannigfacher Art zu ergänzen.

Deshalb ist es dem Geodätischen Institut auch gestattet, Versuchsmessungen mit Apparaten für Basismessungen, Winkelmessungen und Nivellements auszuführen, nur ist die Publikation derselben, insofern sie den Anschein von kritisirenden Nachmessungen gewinnen könnte, im Einverständniß mit dem Chef der Landesaufnahme zu bewirken.

Die zur gegenseitigen Förderung der beiderseitigen Arbeiten, sowie zur Anordnung etwaiger gemeinsamer Arbeiten zu

- Seitenwechsel im Dokument -

treffenden Vereinbarungen werden der direkten Erledigung zwischen dem Chef der Landesaufnahme und dem Direktor des Geodätischen Institutes zu überlassen sein.

Ist über die Ausführung von Arbeiten, die auf dem gemeinsamen Arbeitsfelde liegen, keine Einigung zwischen den genannten beiden Chefs zu erzielen, so entscheidet der Vorsitzende des Centralvermessungsdirektoriums.

Anlage 2.

Spezialisirung des Geschäftsbereiches vom Geodätischen Institut.

§.1 des Statuts des Geodätischen Instituts vom 25. September 1877 bezeichnet als die Aufgabe desselben die Pflege der wissenschaftlichen Geodäsie und die Ausführung der für die Europäische Gradmessung innerhalb des Preußischen Staatsgebietes erforderlichen Arbeiten.

Bezüglich der letzteren führt §.4 des gen. Statuts spezieller nachstehende Obliegenheiten an:

1. Die Ausführung wissenschaftlicher, für die Gradmessung erforderlicher Triangulationen und Präzisionsnivellements.
2. die astronomische Bestimmung von Polhöhen, Azimuthen und Längendifferenzen für die Hauptpunkte des geodätischen Netzes,
3. die Bestimmung der Intensität der Schwere an den erforderlichen Punkten,
4. die Ausführung anderer Berechnungen und experimenteller Untersuchungen im Interesse der Gradmessung.
5. Vorbehalten bleibt die Ausdehnung des Arbeitsplans auf die Bestimmung Magnetischer Constanten.

Von diesen Aufgaben fallen von jetzt ab die unter 1 und 5 bezeichneten fort, die ersteren, weil dieselben in Zukunft von der Königlichen Landesaufnahme erledigt werden, die letzteren, weil dieselben vom Meteorologischen Institut übernommen werden, wohingegen noch Maßvergleichungen hinzutret-

ten, insoweit solche für Schwerkräftenbestimmungen, Untersuchung von Basisapparaten und von zeitlichen Aenderungen der Maßstabe erforderlich sind.

- Seitenwechsel im Dokument -

Außerdem erweitert sich der Geschäftskreis des Instituts durch seine Verbindung mit der Universität, was zur Entfaltung einer Lehrthätigkeit führen wird. Endlich kann sich das Institut in Zukunft auf Wunsch der Staatsregierung mit Einschlägigen gutachterlichen Aeußerungen befassen.

Die Aufgaben, welche dem Geodätischen Institut hiermit fernerhin zugetheilt werden, sind in ausführlicher Aufzählung die folgenden:

1. Arbeiten für die Gradmessung:

- a. Vollendung des Hauptnetzes der geographischen Längenbestimmungen,
- b. Sekundäre Längenbestimmungen für Untersuchung von Spezialgebieten,
- c. Vollendung der Bestimmungen geographischer Breiten für die Hauptpunkte des trigonometrischen Netzes,
- d. Sekundäre Breitenbestimmungen in möglichst großer Anzahl zur Bestimmung der Figur der Meridiane (astronomische Nivellements),
- e. Vollendung der Azimuthbestimmungen für die Hauptstationen,
- f. Sekundäre Azimuthbestimmungen,
- g. Bestimmung der absoluten Intensität der Schwerkraft auf einigen Hauptstationen,
- h. Relative Schwerebestimmungen für die übrigen Hauptstationen, ferner für Untersuchungen von Massenvertheilungen sowie als Grundlage der Reduktion geometrischer Nivellements,
- i. Maßvergleichen für Pendelbeobachtungen,
- k. Maßvergleichen im Anschluß an die Grundlinienmessungen der Landesaufnahme (Cooperation).
- l. Untersuchung des Mittelwassers der Ostsee und Nordsee an der deutschen

- Seitenwechsel im Dokument -

Küste mittelst Beobachtungen an Pegeln und Mareographen.

- m. Rechnerische Verbindung der astronomischen Bestimmungen mit den geodätischen Bestimmungen der Landesaufnahme,
- n. Zusammenfassende Diskussion des durch die vorgenannten Operationen gewonnenen Materials unter Zuziehung der Ergebnisse anderer Länder, Schlüsse auf die Figur der Erde, insbesondere in Europa, und auf die Dichtigkeitsverhältnisse der Erdkruste.

Die Grenzen des preußischen Staatsgebietes können bei den obenerwähnten praktischen Arbeiten überschritten werden, insoweit Messungen zum Anschluß an die entsprechenden der Nachbarstaaten erforderlich scheinen.

2. Arbeiten im Interesse der Pflege der wissenschaftlichen Geodäsie

- a. Studium der terrestrischen Refraktion,
- b. Untersuchung über die Möglichkeit der Bestimmung der Erdgestalt aus Zenithdistanzmessungen,

- c. Prüfung neuer Methoden und Instrumente für Schwerkräftenbestimmung, Winkelmessung, Höhenmessung u. dergl.
- d. Ergreifung von Maßregeln und Anstellung von Beobachtungen behufs xxxxtirung zeitlicher Veränderungen des Erdkörpers und der Längenmaße,
- e. Untersuchung der allgemeinen Erddichte.

3. Lehrthätigkeit

Durch seine Verbindung mit der Universität wird das Geodätische Institut den Studirenden der mathematischen und physikalischen Disziplinen Gelegenheit bieten, die höheren geodätischen Probleme theoretisch und praktisch kennen zu lernen, was für die Belebung der mathematischen Wissenschaften von Nutzen ist und

- Seitenwechsel im Dokument -

ebenso der Geodäsie zu Gute kommen und ihr frische Kräfte zuführen wird.

Auch ist das geodätische Institut geeignet, Dozenten und anderen Vertretern

Der technischen Geodäsie Anleitung zur praktischen und theoretischen Ausbildung

In der höheren Geodäsie zu gewähren.

- 4. Bearbeitung von Gutachten über Fragen des praktischen Vermessungswesens im Auftrage der Staatsregierung.

Dokument 6

ABBAW 3: *Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv, Historische Abteilung 1812-1945, Sternwarte Babelsberg, Nr. 206,*

Internationale Organisation der Gradmessungsarbeiten, 1884-1888, Beleg 32.

Briefentwurf von Wilhelm Foerster vom 19. April 1886 an General Annibale Ferrero, Direktor des Istituto Geografico Militare in Florenz und Mitglied der Permanenten Commission der Europäischen Gradmessung.

Hintergrund:

Die italienische Gradmessungskommission fragte in einem von General Ferrero unterzeichneten und an Hermann von Helmholtz gerichteten Brief vom 21. März 1886 an, wie die Arbeit der Europäischen Gradmessung nach Baeyers Tod weiter zu organisieren sei. Der Brief wurde über Althoff dem Kultusminister Gustav von Goßler vorgelegt und im Ministerium die Entscheidung getroffen, Wilhelm Foerster damit zu beauftragen, „*Verhandlungen im Betreff der künftigen Organisation der internationalen Erdmessung und in betreff der Stellung des geodätischen Instituts zu dieser Organisation*“ (GStA PK 3) aufzunehmen. Foerster reiste am 16. April 1886 mit diesem Auftrag nach Neuchâtel, um mit dem ersten Sekretär der *Permanenten Commission* Adolphe Hirsch, dem Direktor des dortigen Observatoriums, die grundlegenden Fragen der Weiterführung der Europäischen Gradmessung/Internationalen Erdmessung zu diskutieren. Foerster hatte schon im September 1885 zu diesem Thema Stellung bezogen. In seinem Bericht vom 29. April 1886 an den Kultusminister teilte er mit, dass auch General Ibáñez, Präsident der *Permanenten Commission*, an dem Treffen teilnehmen sollte, der aber kurzfristig aus dienstlichen Gründen absagen musste. Hirsch und Foerster bemühten sich, noch den zweiten Sekretär der *Permanenten Commission*, Professor Theodor von Oppolzer aus Wien und das Mitglied der *Permanenten Commission*, Generalmajor Ferrero aus Florenz, am Treffen teilnehmen zu lassen, die aber ebenfalls verhindert waren. Alle drei genannten sowie Friedrich Robert Helmert haben allerdings zu den Verhandlungen von Hirsch und Foerster brieflich bzw. telegraphisch Stellung genommen. Foerster teilt in seinem Bericht dann den ausgearbeiteten „*Entwurf einer Uebereinkunft, betreffend die internationale Organisation der Erdmessung*“ mit und schließt die Einschätzung an, dass diese eine sehr gute Grundlage für die anstehenden Verhandlungen der beteiligten Regierungen sein kann. Auch die Vorstellungen des Kultusministeriums über die Einbindung Preußens in diese internationale wissenschaftliche Vereinigung (Verbleib des Zentralbüros am KPGI in Berlin) fanden Berücksichtigung.

(GStA PK 3)

Im angefügten Brief informiert Foerster vorab über die Ergebnisse der Beratungen.

Neuchâtel den 19. April

1886

32

Hochgeehrter Herr General

Wie herzlich bedaure ich, dass es Ihnen unmöglich ist nach Neuchâtel zu kommen. Ich hätte Ihnen im Namen meines Ministers so gern persönlich gedankt für das warme Interesse, welches Sie in Ihrem Briefe an Herrn von Helmoltz in Betreff der Fortdauer der bisherigen Stellung Preussens innerhalb der Gradmessung ausgedrückt haben. Leider kann ich, obwohl auch hierzu ermächtigt, nicht nach Florenz kommen, weil die Nachrichten die ich von dem Gesandtschaftszustande meiner Frau erhalten habe, mich gegen Erwartung verhindern, mich allzuweit

von Berlin zu entfernen.
 Ich werde mir aber, sobald ich nach
 Berlin zurückgekehrt bin, erlauben, Ihnen
 ausführlich über die Lage der Dinge
 zu berichten und Ihr Urtheil über die
 weitere Entwicklung der Sache zu erbitten.

Leider ist General Sauer, mit welchem
^(gemeinsam mit Herrsch)
 ich hier zunächst verhandeln wollte, im
 letzten Augenblick verhindert gewesen,
 das Rendez-vous einzuhalten, weil
 persönliche Verhältnisse, welche mit unserer
 Angelegenheit ^{nicht} zusammenhängen, in den
 Weg traten, aber er hat mir unter
 Zustimmung seiner Regierung eine
 schriftliche Erklärung hierhergesandt,
 welche mich hoffen lässt, dass sehr
 bald eine befriedigende Uebereinkunft
 in Betreff der künftigen Organisation
 des Gradmessungs-Unternehmens erreicht
 werden wird.

Wir sind in den letzten Monaten in

Berlin nicht möglich gewesen, sondern
haben zunächst die künftige nationale
Stellung des geodätischen Instituts dessen
Direction Prof. Helmer übernimmt,
gesichert. Nachdem dieses erreicht ist,
wären wir zu hoffen, dass man das
Central-Büreau im Wesentlichen in
seinen bisherigen Attributionen, aber unter
Verstärkung des Einflusses der permanenten
Commission, in Verbindung mit dem geodätischen
Institut belassen wird. (Der Beirath
wird aufgelöst und an seine Stelle würde,
in den internationalen Functionen des geo-
dätischen Instituts, die permanente Commis-
sion treten).

Diese Hoffnung ist bei unserem Minister
durch Ihren Brief an Herrn von Helmholtz
erheblich verstärkt worden.

Wir glauben jedoch bei näherer Erwägung
der bisherigen Erfahrungen, dass es nicht weise
sein würde, lediglich die Stellung des
Central-Büreaus zu conseruiren, sondern

dass die ganze Organisation einer gewissen
Umbildung und Stärkung bedürfen wird,
um wahrhaft nützlich zu wirken.

Ein Central-Büreau, selbst wenn es durch
eine besondere diplomatische Convention streng
international fundiert würde, könnte unmög-
lich hinlängliche Beweglichkeit haben,
um allen den theoretischen und experimentellen
Arbeiten, die sich jetzt auf diesem weiten
Gebiete als gemeinsam zu lösende Aufga-
ben entwickelt haben, als Organ zu dienen.
Ausserdem haben Sie, Herr General, in Ihrem
Brieфе überzeugend bewiesen, dass eine
solche kostspielige Institution sehr grosse
Gefahren für das Fortbestehen der Ver-
einigung hervorrufen würde.

Aber neben einem an ein Landes-Instit.
ut angeschlossenen Central-Büreau, streichl
etc. wird es ratsam sein, einen kleinen
Dispositions-Fonds vielleicht in Gestalt
einer capitalisirten Einzahlung zehnjähriger
Beiträge zu begründen, welcher ausfliesslich
der permanenten Commission zum Zwecke
der Anregung und Unterstützung wissenschaftl.

etwa in Höhe von 20000 Frs
jährlich, für dass der Beitrag
Stations auf circa 2000 Frs jährlich
oder für 10 Jahre capitalisirt auf
10000 Frs für Anfangen würde

Arbeiten auf dem ganzen Gebiete der
Gradmessung zur Verfügung steht.
Ich glaube, dass unser Minister bereit
sein würde, ein solches Abkommen,
welches die Lebensfähigkeit und
Vernünftigkeit der ganzen Organisation
wesentlich erhöhen würde, zu fördern;
auch ist zu hoffen, dass denjenigen Staaten,
welche den blossen Status quo keines-
falls acceptiren wollen, wie Spanien,
Frankreich u. a. durch eine solche
Form der Beteiligung, an den Kosten
der Organisation der ^{fernere} Beitritt er-
möglichst werden würde.

Ich würde Ihnen zunächst sehr
dankbar sein, wenn Sie mir auf
obige vertrauliche Andeutungen nach
Berlin eine vorläufige Äusserung
senden möchten, wonach ich Ihnen
ein greifbares Project zu finden
würde. In grösster Hochachtung
Ihr herzlich ergebener H. Foerste

Transkription

Neuchâtel den 19. April

1886

Hochgeehrter Herr General

Wie herzlich bedauere ich, dass es Ihnen unmöglich ist, nach Neuchâtel zu kommen. Ich hätte Ihnen im Namen meines Ministers so gern persönlich gedankt für das warme Interesse, welches Sie in Ihrem Briefe an Herrn von Helmholtz in Betreff der Fortdauer der bisherigen Stellung Preussens innerhalb der Gradmessung ausgedrückt haben. Leider kann ich, obwohl auch hierzu ermächtigt, nicht nach Florenz kommen, weil die Nachrichten, die ich von dem Gesundheitszustande meiner Frau erhalten habe, mich gegen Erwartung verhindern, mich allzuweit von Berlin zu entfernen.

- Seitenwechsel im Dokument -

Ich werde mir aber, sobald ich nach Berlin zurückgekehrt bin, erlauben, Ihnen ausführlich über die Lage der Dinge zu berichten und Ihr Urtheil über die weitere Entwicklung der Sache zu erbitten. Leider ist General Ibanez, mit welchem gemeinsam mit Hirsch ich hier zunächst verhandeln wollte, im letzten Augenblick verhindert gewesen, das Rendez-vous einzuhalten, weil persönliche Verhältnisse, welche mit unserer Angelegenheit nicht zusammenhängen, in den Weg traten, aber er hat mir unter Zustimmung seiner Regierung eine schriftliche Erklärung hierhergesandt, welche mich hoffen lässt, dass sehr bald eine befriedigende Uebereinstimmung in Betreff der künftigen Organisation des Gradmessungs-Unternehmens erreicht werden wird.

Wir sind in den letzten Monaten in Berlin nicht müßig gewesen, sondern haben zunächst die künftige nationale Stellung des geodätischen Instituts, dessen Direction Prof. Helmert übernimmt, gesichert. Nachdem dieses erreicht ist, wagen wir zu hoffen, dass man das Central-Bureau im Wesentlichen in seinen bisherigen Attributionen, aber unter Verstärkung des Einflusses der permanenten Commission, in Verbindung mit dem geodätischen Institut belassen wird. (Der Beirath wird aufgelöst und an seine Stelle würde, in den internationalen Funktionen des geodätischen Institutes, die permanente Commission treten).

Diese Hoffnung ist bei unserem Minister durch Ihren Brief an Herrn von Helmholtz erheblich verstärkt worden.

Wir glauben jedoch bei näherer Erwägung der bisherigen Erfahrungen, dass es nicht weise sein würde, lediglich die Stellung des Central-Bureaus zu conserviren, sondern dass die ganze Organisation einer gewissen Umbildung und Stärkung bedürfen wird, um wahrhaft nützlich zu wirken.

Ein Central-Bureau, selbst wenn es durch eine besondere diplomatische Convention streng international fundirt würde, könnte unmöglich hinlängliche Beweglichkeit haben, um allen den theoretischen und experimentellen Arbeiten, die sich jetzt auf diesem weiten Gebiete als gemeinsam zu lösende Aufgaben entwickelt haben, als Organ zu dienen. Ausserdem haben Sie, Herr General, in Ihrem Briefe überzeugend bewiesen, dass eine solche kostspielige Institution sehr grosse Gefahren für das Fortbestehen der Ver-

- Seitenwechsel im Dokument -

- Seitenwechsel im Dokument -

einigung hervorrufen würde.

Aber neben einem an ein Landes=Institut angeschlossenen Central-Bureau, Archiv etc. wird es rathsam sein, einen kleinen Dispositions=Fonds vielleicht in Gestalt

etwa in Höhe von 20000 frcs.

jährlich, so dass der Beitrag

Statiens auf circa 2000 frcs. jährlich

oder für 10 Jahre capitalisirt auf

17000 frcs. Sich belaufen würde

einer capitalisirten Einzahlung zehnjähriger Beiträge zu begründen, welcher ausschliesslich der permanenten Commission zum Zwecke der Anregung und Unterstützung wissenschaftlicher Arbeiten auf dem ganzen Gebiete der Gradmessung zur Verfügung steht.

Ich glaube, dass unser Minister bereit sein würde, ein solches Abkommen, welches die Lebensfähigkeit und Vernünftigkeit der ganzen Organisation wesentlich erhöhen würde, zu fördern; auch ist zu hoffen, dass denjenigen Staaten, welchen den blossen Status quo keinesfalls acceptiren wollen, wie Spanien, Frankreich u. a. durch eine solche Form der Betheiligung an den Kosten der Organisation der (Einfügung: fernere) Beitritt ermöglicht werden würde.

Ich würde Ihnen zunächst sehr dankbar sein, wenn Sie mir auf obige vertrauliche Andeutungen nach Berlin eine vorläufige Äusserung senden möchten, wonach ich Ihnen ein greifbares Project zusenden würde. In grösster Hochachtung

Ihr herzlich ergebener W. Foerster

- Seitenwechsel im Dokument -

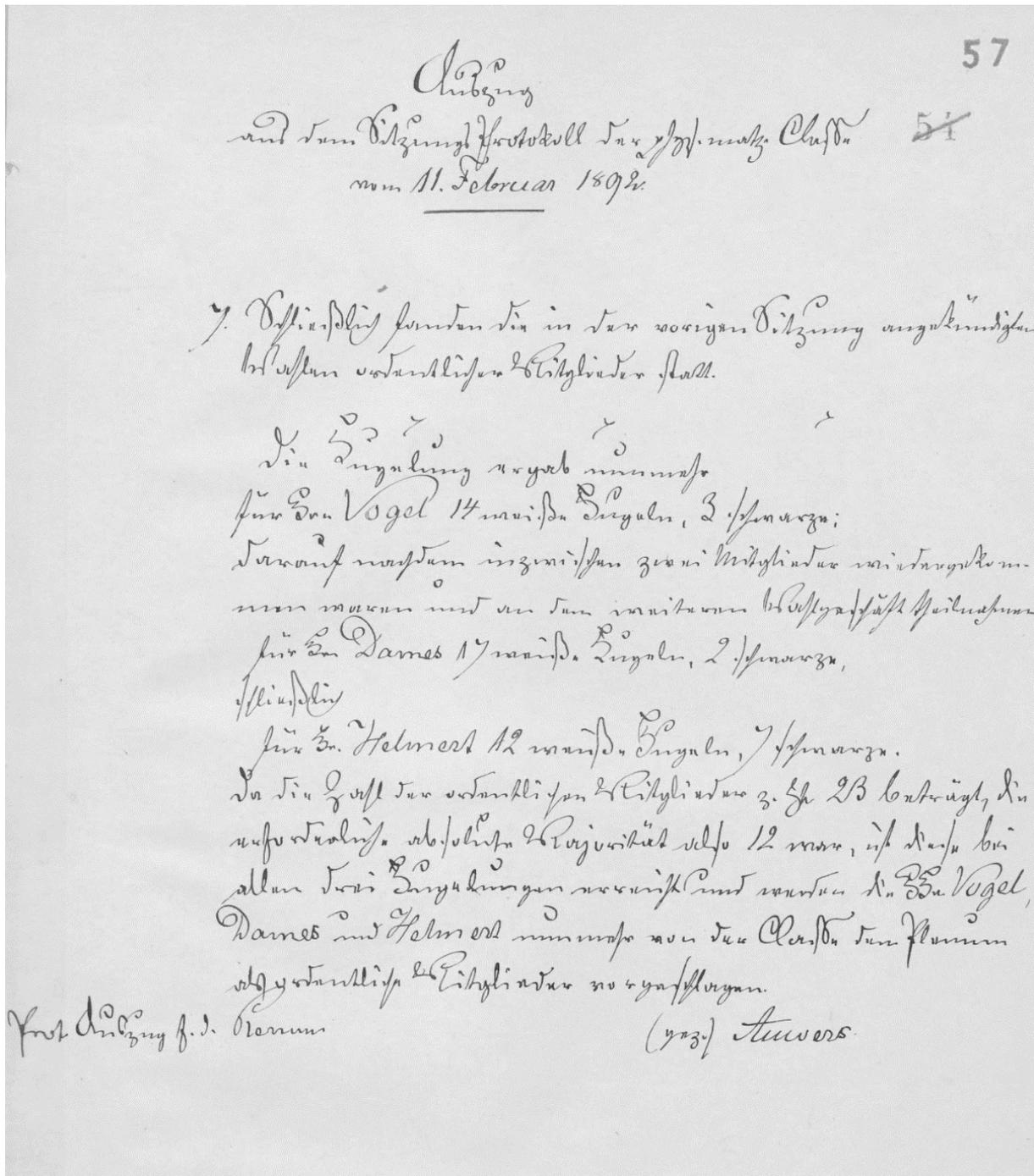
Dokument 7

ABBAW 4: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv

Registrade: PAW (1812-1945) II-III-30, Blätter 57, 61 und 62, 1892.

Auszug aus dem Sitzungsprotokoll der phys. math. Classe vom 11. Februar 1892.

Begründung des Aufnahmevorschlags für F. R. Helmert vom 21. Januar 1892.



58

*Q*u in Unterrichtsarbeiten gesammelt sind von dem berühmten Professor an der kaiserlichen Universität, Director der kaiserlichen Beobachtungsanstalt für die kaiserliche Sternwarte, Herrn F. R. Helmes zum oben genannten Mitgl., gleich der physikalisch-mathematischen Classe der Akademie von. geprüften.

Herr Helmes ist bereits durch seine Kaiserliche Akademiearbeiten in seinen Vorträgen als Observator der Sternwarte von 1869-70 und danach als Assistent der kaiserlichen Sternwarte, später in der ersten Hälfte seiner Thätigkeit als Professor der Geodäsie an der Kaiserlichen Sternwarte zuerst von Astronomie, aber insbesondere in Geodäsie vorzüglich bekannt geworden als ein Gelehrter, welcher sich mit den Methoden seiner besonderen Fächer sowohl als der Astronomie zu verbinden gelang, von frühester Zeit an und von demselben Kapitale auf die verschiedensten Gebiete der Wissenschaft zu vertheilen und sich vollständig anzueignen vermög.

Seine Kaiserlichen Arbeiten waren für Herrn Helmes jedoch eine Hauptstütze zu seinem der Geographie der Geodäsie in, fassenden Werk, welches unter dem Titel „Die mathematischen und physikalischen Grundlagen der kaiserlichen Sternwarte“ in 2 Bänden, der erste Band „Die mathematischen Grundlagen“ 1880, der zweite „Die physikalischen Grundlagen“ 1884 erschienen ist. Mit diesem Werk ist Herr Helmes in die erste Reihe der gelehrtesten Geodäten eingetreten, indem er ein Buchwerk für seine Fächer geliefert hat, wie es gleich vollständig und im ganzen Umfang der Wissenschaft der Geographie, wie seiner originalen Auffassungen und damit gewonnenen neuen Kapitale und wissenschaftlichen Anregungen in keiner Literatur bis dahin existirt, und nicht wenige in keiner anderen Literatur existirt. Es ist der Wissenschaft keine Ehre, wenn die mathematischen Vorkenntnisse der ersten Hälfte nicht ganz in, genügender Weise gesichert sind, denn der Hauptzweck ist es, sich vollständig von der Auffassungs- und Vorkenntnisse der mathematischen Wissenschaft, welche allgemein die kaiserliche Oberbehörde befehlen will, zu Gunsten der geodätischen Praktiker zu verhalten, welche mit demselben abgegrenzten Kolonial-Platz und seinen localen Informationen zu thun hat. Die mathematische Seite der geodätischen Praxis

aber

55
54

III 2

58 62

Die abgefruchtbarste Erzeugnisverarbeitung der vom Institut regelmäßig
 angefertigten Messungen aller Art, sind die Vermessung weiterer Messung,
 materials insoweit die durch die meine Organisation von 1886 dem In-
 stitut zugewiesenen Bereich regelmäßig festgesetzt, sondern ist
 vielmehr eine der wichtigsten gesammtenarbeiten, eine dieser
 dieser Materials sind die Erzeugnisse der Vermessungen, die
 Kaufverträge mit den Arbeitern der Herrn Helmer über die Loh-
 abweichungen („Zugabe für die Norddeutsche“ 1886; „Brief über
 Lohabweichungen“ 1887) und über Korbalmessungen im Ayrang-
 bild („Die Verankerung im Jochgange“ 1890) erstellt. Von einem
 über die Qualität der Arbeit, eine für die Astronomie einen,
 blicklich mit dem Norddeutschen Kaiserlichen Institut sind die von
 dem Kaiser von dem Institut angekauften Untersuchungen
 über Messungen in der Lage der Kolonialländer der Festländer,
 welche, zum Teil von anderen Stellen, durch die Kaiserlichen
 Anstalten, angeordnet, von Herrn Helmer persönlich
 angeordnet, zum Teil als durch wissenschaftliche Fortschritt
 wesentlich gefördert werden sind, ist dem Abschluss über die
 gegenwärtigen.

Die ebenfalls gebräuchlichen als selbstbestimmten Leistungen der Herrn
 Helmer als selbstbestimmten Fortschritt maßgebend, zum Teil
 gegenwärtig eine der für seine Arbeitskraft steht, der Unter-
 suchungen insoweit, sagt die Akademie in seinen
 verschiedenen Arbeiten für seine Mitgliederkreise
 durch kommt nach der preussischen Fortschritt, welche die Akademie
 an der durch die Mitgliedschaft der Herrschaft
 Verbindung mit einem der bedeutendsten
 Fortschritt, und durch weitere mit der
 Organisation unserer
 zu uns bezieht, wenn man sie eine
 und davon Ziel sie muss und muss
 der Geographie arbeiten werden.

Berlin, 21. Januar 1892.

Adm. v. Helmholtz u. Buzard
 Schmidt

Transkription

Auszug
aus dem Sitzungsprotokoll der phys. math. Classe
vom 11. Februar 1892

7. Schließlich fanden die in der vorigen Sitzung angekündigten Wahlen ordentlicher Mitglieder statt.

Die Kuglung ergab nunmehr
für Hrn Vogel 14 weiße Kugeln, 3 schwarze;
darauf nachdem inzwischen zwei Mitglieder wiedergekommen waren und an dem weiteren Wahlgeschäft theilnahmen
für Hrn Dames 17 weiße Kugeln, 2 schwarze,
schließlich
für Hr Helmert 12 weiße Kugeln, 7 schwarze.

Da die Zahl der ordentlichen Mitglieder z. Zt 23 beträgt, die erforderliche absolute Majorität also 12 war, ist diese bei allen drei Kugelungen erreicht und werden die HHr. Vogel, Dames und Helmert nunmehr von der Classe dem Plenum als ordentliche Mitglieder vorgeschlagen.

Prot Auszug f. d. Plenum (gez.) Auwers.

Die Unterzeichneten gestatten sich den ordentlichen Professor an der hiesigen Universität, Direktor des Königlichen Geodätischen Instituts Herrn F. R. H e l m e r t zum ordentlichen Mitgliede der physikalisch – mathematischen Classe der Akademie vorzuschlagen.

Herr H e l m e r t ist bereits durch eine Reihe kleinerer Arbeiten in seinen Stellungen als Observator an der Hamburger Sternwarte 1869-70 und darauf als Assistent der Sächsischen Gradmessung, ferner in der ersten Hälfte seiner Thätigkeit als Professor der Geodäsie am Aachener Polytechnicum zuerst den Astronomen, alsdann aber im besondern den Geodäten vortheilhaft bekannt

geworden als ein Gelehrter, welcher sich mit den Methoden seines besondern Fachs sowohl als der darin zur Anwendung gelangenden Hilfs-Disciplinen und den damit erlangten Resultaten auf das eingehendste bekannt gemacht hat, dieselben kritisch zu beurtheilen und mit Erfolg selbständig anzuwenden vermag.

Diese kleineren Arbeiten waren für Herrn H e l m e r t jedoch nur Vorstudien zu einem das Ganze der Geodäsie umfassenden Werk, welches unter dem Titel „Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie“ in 2 Bänden, der erste Band „Die mathematischen Theorien“ 1880, der zweite „Die physikalischen Theorien“ 1884 erschienen ist. Mit diesem Werk ist Herr H e l m e r t in die erste Reihe der gleichzeitigen Geodäten eingetreten, indem er ein Lehrbuch für sein Fach geliefert hat, wie es gleich vollständig und im ganzen Umfange der Disciplin tief eingehend, reich an originalen Anschauungen und damit gewonnenen neuen Resultaten und fruchtverheißenden Anregungen in keiner Literatur bis dahin existirte, und auch heute in keiner anderen Literatur existirt. Es thut der Werthbemessung keinen Eintrag, wenn die mathematischen Darstellungen des ersten Theils nicht ganz ungetheilten Beifall gefunden haben, denn der Verfasser hat sich geflissentlich von der Anschauungs- und Darstellungsweise des mathematischen Theoretikers, welcher allgemein die krumme Oberfläche behandeln will, zu Gunsten des geodätischen Praktikers entfernt, welcher mit dem schwach abgeplatteten Rotations-Ellipsoid und seinen localen Deformationen zu thun hat. Der mathematische Theil der geodätischen Praxis

- Seitenwechsel im Dokument -

aber hat durch die Darlegungen H e l m e r t's über die Ausgleichung größerer Dreiecksnetze und über die Ableitung der Erdfigur aus den Gradmessungen eine wichtige Förderung erfahren.

Ohne Einschränkung ist von den näheren und weiteren Fachgenossen die Bedeutung des zweiten Theils „Die physikalischen Theorien“ anerkannt, in welchem der Bearbeiter seine selbst-

materials innerhalb des durch die neue Organisation von 1886 dem Institut zugewiesenen Bereichs regelmäßig fortgesetzt, sondern es sind nunmehr auch die wichtigeren zusammenfassenden, auf Grund dieses Materials und der Einzelbearbeitungen vorzunehmenden, Untersuchungen mit den Arbeiten des Herrn H e l m e r t über die Lothabweichungen („Ergebnisse für Norddeutschland“ 1886; „Bericht über Lothabweichungen 1887) und über Pendelmessungen im Alpengebiet („Die Schwerkraft im Hochgebirge“ 1890) eröffnet. Von einem über die Geodäsie hinausreichenden, auch für die Astronomie augenblicklich mit im Vordergrund stehenden Interesse sind die vor drei Jahren von dem Institut aufgenommenen Untersuchungen über Veränderungen in der Lage der Rotationsaxe des Erdkörpers, welche, zunächst von anderer Stelle, durch die Küstner'schen Beobachtungen, angeregt, von Herrn H e l m e r t sowohl durch umfassend angeordnetes Experiment als durch theoretische Erörterung bereits wesentlich gefördert worden sind, ihrem Abschluß aber erst noch entgegenzusehen.

Die ebenso gediegenen als fruchtbaren Leistungen des Herrn H e l m e r t als selbständigen Forschers machen es, zumal derselbe gegenwärtig auf der Höhe seiner Arbeitskraft steht, den Unterzeichneten unzweifelhaft, daß die Akademie in seiner Person einen wirklichen Gewinn für ihren Mitgliederkreis erlangen wird. Dazu kommt noch das sachliche Interesse, welches die Akademie an der durch die Mitgliedschaft des Direktors gewonnenen engeren Verbindung mit einem der bedeutendsten unter den inländischen Forschungsinstituten, und dadurch weiter mit der erdumfassenden Organisation nehmen muß, deren Aufgabe man bereits heute zu eng bezeichnet, wenn man sie nur eine geodätische nennt, und deren Ziele sich mehr und mehr über den ganzen Umfang der Geophysik verbreitern werden.

Berlin, 21. Januar 1892.

A. Auwers. v. Helmholtz v. Bezold
Kundt

Dokument 8

ABBAW 5: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv

Registrade: PAW (1812-1945) II-III-32, Blätter 141 und 158, 1900.

Wahlvorbereitung physikalisch-mathematische Klasse, Akademie November 1899. Wahlbestätigung Helmerths durch den Erlass des Kaisers vom 31. Januar 1900.

Schreiben der Akademie an Helmert zu seiner Wahl zum ordentlichen Mitglied der Akademie vom 15. Februar 1900.

Transkription (Dokument nachfolgend)

Wahl 30 November .

Protokoll-Auszug für den 7 Dzbr

Die Unterzeichneten beabsichtigen in der nächsten Klassensitzung einen Wahlvorschlag zu machen für die Wahl eines ordentlichen Mitglieds in eine freie Stelle.

Berlin den 2. November
1899

Vogel
v. Bezold
Kohlrausch
Fuchs
v. Richthofen

Den Herren Mitgliedern der Phys. m. Kl. bringe ich die vorstehende Anzeige zur Kenntnis mit dem Anheimgeben, etwaige weitere Vorschläge zur Wahl von ordentlichen Mitgliedern in den offenen freien Stellen - es sind deren im Ganzen noch zwei - bis zum Beginne der Wahlverhandlungen in der Sitzung vom

16 November d. J.

dem vorsitzenden Klassen-Sekretär einzureichen.

Berlin 4 November 1899.

gelesen: 18 Unterschriften

Wahl 30 November

Protokoll-Auszug für den 7. Jg

Die Diskussionsarbeiten beabsichtigen in der
nächsten Plenarsitzung einen Entwurf
zu machen für die Wahl eines vorübergehenden
Mitglieds in einer freien Stelle.

Berlin den 2. November
1899

H. Vogel
v. Beyon
Kottmann
Fischer
K. K. K.

Den Herren Mitgliedern der phys. m. Kl. bringe ich die vorstehende
Anzeige zur Kenntnis mit dem Auftrage, etwaige weitere Vorschläge
zur Wahl von ordentlichen Mitgliedern in den offenen freien Stellen
— es sind davon im Ganzen noch zwei — bis zum Beginn der Wahl-
verhandlung in der Sitzung vom

10 November d. J.

dem vorstehenden Klassen-Sekretar einzurücken.

Berlin 4. November 1899.

Waldemar

Gab. Ingevers	J. Hoff	Engelmann
Waldemar	Glanck	Kandoll
Munz	F. E. Schube	Kertin
Höbner	Kayler	Fischer
Frobenius	Schneiders	Chalkin
H. St. Schwarz	Kunz	

nr 12/01 *Rechnen zu Ende (nicht kalieren)*
2 St ** nach dem neuen Formulare*
Der Minister

158

**der geistlichen, Unterrichts- und Medicinal-
Angelegenheiten.**

Berlin den 9. Februar 1900.

U I. Nr. 10330.

J. 5.

Am 9. April 00 3 1/2 Uhr
beruht wegen Gefaltens mit
an. Bsp. v. Helmert unregelmäßig
St

Auf den Bericht vom 5. Januar d. Js. - Nr: 5.-

Seine Majestät der Kaiser und König haben durch
Allerhöchsten Erlass vom 31. Januar d. Js. die Wahl
des Direktors des Geodätischen Instituts und ordent-
lichen Professors der Geodäsie an der hiesigen Univer-
sität, Geheimen Regierungs - Raths Dr: Robert Helmert,
zum ordentlichen Mitgliede der Physikalisch- mathema-
tischen Klasse der Akademie der Wissenschaften zu be-
stätigen geruht.

An
die Königliche Akademie der
Wissenschaften.

IIIa

RH

Transkription

An den Direktor des Geodätischen Instituts

Berlin, den 15. Februar 1900.

Herrn Geh. RegR. Prof. Dr. Helmert

hohergeb.

Potsdam

Hochgeehrter Herr,

in Auftrage der P. Ak. d W. beehre ich mich Ihnen anzuzeigen, daß dieselbe Sie zum ordentl. Mitgliede ihrer phys. math. Classe gewählt hat und diese Wahl von seiner Maj. dem Kaiser u. König durch Allerhöchsten Erlaß vom 31. Jan. ds. Js. bestätigt worden ist.

Indem ich die Statuten der Akad. nebst Beilagen, das Verzeichnis der Mitglieder, die Leseliste und die im laufenden Jahre bereits erschienenen Drucke der Sitzungsberichte Ihnen hierneben ergebenst überreiche, beehre ich mich zugleich Sie zu der nächsten Sitzung der Akademie, Donnerstag den 22. Febr., 4 Uhr nachm., im Akademiegebäude Unter den Linden Nr. 38 einzuladen.

Einen weiter hier beigefügten Fragebogen er-
suche ich Sie gefälligst ausfüllen zu wollen und in unserem Bureau
Universitätsstr. 8 für das Sekretariat wieder einzureichen.

Ihr Mitglieds-Diplom wird Ihnen sogleich nach Fertigstellung zugesandt werden.

Mit der Versicherung meiner ausgezeichneten Hochachtung bin ich

ganz ergebenst

der z. Zt. vors. Secr. d. Kgl. Ak. d W.

AA (Auwers)

NB. Herr Helmert ist in Prof.-Verz. der Universität als Robert Helmert aufgeführt. Auf seinen Schriften nennet er sich selbst aber F. R. Helmert (Friedrich Robert). Da müssen wir ihn wohl auch mit beiden Vornamen führen, auch im Diplom ?

Ich werde Hn. H. befragen wie er genannt sein will.

AA

Dokument 9

ABBAW 8: *Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv,*
Registtrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 33, 1917.

Bericht zur zweiten Kommissionssitzung vom 8. November 1917 zur Findung eines Nachfolgers als Direktor des Geodätischen Instituts nach dem Tod Helmerts.

Transkription (Dokument nachfolgend)

Zweite Commissionssitzung

den 8. November 1917.

Nachm. 5 ½ Uhr

Anwesend: die HH. Penck, Rubens, Warburg, Hellmann, Struve
und der Unterzeichnete. Später Hr. Schwarz.

Abwesend: Prof. Branca.

Hr. Penck begründete mündlich seine Bedenken gegen die von Prof. Struve ausgearbeitete Fassung des Briefes an das Ministerium, und kündigt ein Separatvotum an, in welchem er Kohlschütter in erster Linie vorzuschlagen gedenkt.

Hr. Struve betont, daß über Kohlschütter bereits in der letzten Sitzung ausführlich gesprochen wurde und daß sich sein Urteil über ihn nicht verändert hat. Zum Belege dafür bespricht er die bisherigen Veröffentlichungen Kohlschütters.

Hr. Penck verliest das von ihm verfaßte Separatvotum, in welchem Kohlschütter als Nachfolger Helmerts vorgeschlagen wird.

Hr. Hellmann führt aus, daß er der Fassung des Struveschen Berichts nicht beistimmen könne, weil darin der Mangel einer wirklich passenden Persönlichkeit nicht genügend hervorgehoben sei. Er erklärt sich aber bereit eine ihn befriedigende Abänderung der Fassung zu suchen, so daß er dann auch in der Lage wäre den Entwurf der Majorität zu unterzeichnen.

Hr. Schwarz schließt sich den Bedenken der HH. Penck u. Hellmann an.

Die Commission beschließt, für den Fall, daß von den HH. Hellmann und Struve eine Fassung des Berichts vereinbart werden kann, diese Fassung als Commissionsbericht gelten zu lassen, für den entgegengesetzten Fall aber den unveränderten Bericht des Hr. Struve anzunehmen und der Klasse vorzulegen.

Planck

Zusatzkommunikation.

am 8. November 1917. Morgen. 5 1/2 Uhr.

Anwesend: die Hg. Penck, Rubenow, Wartburg, Hellmann, Strome
und der Untergewerkschaftermeister Hr. Schwarz.

Abwesend: Hr. Schwarz. Hr. Branca.

Hr. Penck begründet mündlich seine Bedenken gegen die von Hr. Strome vorgeschlagene
Fassung des Leiters Bericht in der Weise, und kündigt ein Organisations
in welcher er Kohlenstücke als reifer Stein anzuführen gedenkt.

Hr. Strome behauptet, daß alle Kohlenstücke bereits in der letzten Sitzung mündlich
angeführt sind und daß sie für die Arbeit als reif erachtet sind. Zum Gegenstande dieser
bestimmten Kohlenstücke.

Hr. Penck wiederholt die von ihm vorgeschlagene Organisations, in welcher Kohlenstücke als
reife Steine anzuführen sind.

Hr. Hellmann führt aus, daß er die Fassung des Strome'schen Bericht nicht befürworten
kann, weil darin der Mangel eines wirklich gelassenen Zustandes nicht genügend
ausgesprochen ist. Es scheint ihm aber besser eine für befriedigende Abänderung
des Berichtes zu sein, so daß er dem nicht in der Lage sein die Fassung
der Majorität zu unterstützen.

Hr. Schwarz stimmt mit dem Bedenken der Hg. Penck in Hellmann an.

Die Kommission beschließt, für den Teil, daß in der Hg. Hellmann in Strome
eine Fassung des Berichtes vorschlagen werden kann, diese Fassung als Leiters Bericht
anzunehmen zu lassen, für den angeführten Teil aber die ursprüngliche Fassung
des Hr. Strome anzunehmen ist der Klasse vorzulegen.

Planck

Dokument 10

ABBAW 11: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv
 Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blatt 39ff, 1917.

Begründung von Albrecht Penck zur Besetzung der Nachfolge Helmerts mit
 Ernst Kohlschütter mit Datum 8. November 1917.

Berlin, den 8. November 1917.

39

Robert. H e l m e r t war ein Forscher von so überragen-
 gender wissenschaftlicher Bedeutung, daß sich für ihn in sei-
 ner Stelle als Direktor des Geodätischen Instituts nicht auf
 vollen Ersatz hoffen läßt. Er hat in allen Richtungen der Geo-
 däsie gleich erfolgreich gearbeitet, sodaß er als unbedingter
 Meister des Faches ~~galt~~^{der} anerkannter Leiter der internatio-
 nalen Erdmessung war. Sein großes Verdienst ist es, die neuere
 Geodäsie in engere Fühlung mit der Geophysik gebracht zu ha-
 ben. Manche Arbeiten, die er selbst geleistet, und viele, die
 er gefördert hat, stehen auf geophysischem Boden, und es liegt
 nahe, daß, wenn man für ihn keinen vollen Ersatz unter den
 Geodäten zu finden glaubt, sich der Blick auf einen Geophysi-
 ker von anerkannter Bedeutung lenkt. Aber verwischt sind die
 Grenzen von Geodäsie und Geophysik durch Helmert nicht. Für
 ihn blieb diese immer nur Hilfswissenschaft, ~~unverjoren~~, und
 unverrückt standen im Vordergrund seiner Untersuchungen die
 seit Jahrhunderten als eigentliche Aufgaben der Erdmessung
 gelten. ^{Der} Noch seine letzten Arbeiten waren der Größe und Ge-
 stalt der Erde gewidmet, und sein Hauptwerk, die Aufstellung
 eines zusammenhängenden Systems von Lotabweichungen bezw. die
 Festlegung des Geoids in unserem Erdteile ist unvollendet
 geblieben. Seine Fertigstellung müßte dem Nachfolger in erster

Li-

Linie am Herzen liegen; denn sie ist es, die die Internationalität der Erdmessung zur Voraussetzung hat und dieser Internationalität am meisten dient. Dem gegenüber treten die wissenschaftlich viel interessanteren Probleme, wie Pendelbögen, Polhöschwankungen usw. zurück. Alle diese Dinge beanspruchen keine so stramme internationale Organisation. Sie können immer begonnen und wieder eingestellt werden. Aber die Arbeit von 50 Jahren Geodäsie in Europa ist verloren wenn das Lotabweichungswerk nicht zum Abschluß kommt, und Europa wird das schon bestehende geodätische Manko gegenüber Nordamerika in einem Jahrhundert nicht mehr ausgleichen; drum muß der Nachfolger von Helmert unbedingt unter den Geodäten gesucht werden.

Das ist entschieden auch Helmert's Meinung gewesen. Ein Mann von seiner wissenschaftliche Bedeutung legt sich naturgemäß die Frage vor, wer sein Lebenswerk fortsetzen könnte. Da hat er nun seinen Blick ^{mit} auf keinen der Geodäten gelenkt, die an Technischen Hochschulen in erster Linie Landmesser erziehen, aber auch nicht auf einen Beamten des von ihm geleiteten Geodätischen Instituts, sondern er hat bei Lebzeiten mehrfach ausgesprochen, daß er E. Kohlschütter für den geeigneten Mann erachte. Dem entsprechen durchaus Äußerungen die er schriftlich über diesen ~~Helmert~~ abgegeben hat. Er veranlaßte ihn, wie er selbst in seinem Berichte über dessen Habilitationsgesuch am 8. Juli 1909 ausgesprochen hat, sich zu habilitieren, da Kohlschütter von Anfang an Geschicklichkeit

keit

keit auf dem ihm zunächst neuen Gebiete der Geodäsie zeigte und sich auch weiterhin mit Glück darin betätigt hat, weswegen er ihn schon damals als erfahrenen Geodäten bezeichnete. Er schließt den Bericht mit den Worten: "Ich zweifle nicht, daß ihn (Kohlschütter) die Zukunft unter den ersten Vertretern des Faches sehen wird". Wenige Jahre danach schlug er Kohlschütter zum Extraordinarius vor, und als sich die Errichtung eines Extraordinariates als unmöglich erwies, beantragte er am 21. November 1913 die Ernennung Kohlschüters zum Honorarprofessor an der Berliner Universität: "da es erwünscht ist, dieser ausgezeichneten wissenschaftlichen Kraft eine angemessene Position an der Universität zu verleihen".

Ernst Kohlschütter, geboren 11. Juni 1870 zu Halle a.d.S., ist von Haus aus Astronom und ist als ~~sal-~~
Assistent von ~~cher~~ ~~zu~~ Auwers nach Berlin gekommen. Er wurde in das Lager der Geodäsie geführt, als eine ~~neue~~ Grenzregulierung zwischen Deutschostafrika und Britisch-Zentralafrika geplant wurde. 1898 wurde er als deutscher Delegierter zu den einschlägigen Arbeiten entsandt, die in genauen Ortsbestimmungen, in Basismessungen und Triangulationen bestanden. Es blieben ihm nur 3/4 Jahr, um sich in diese ausgedehnten Aufgaben am Geodätischen Institute in Potsdam unter Helmert's Leitung einzuarbeiten. Helmert gewann dabei solches Zutrauen zu Kohlschütter, daß er eine Denkschrift ausarbeitete über die Ausführung und Bedeutung von Schwerkraftmessungen, die

Kohl-

Kohlschütter im Anschluß an die Deutsch-englische Grenzregulierung zwischen dem Njassa und Tanganjika ausführen sollte. Die Königliche Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen machte diese zu der Ihrigen, und der Herr Kultusminister erwirkte die dazu benötigten Mittel aus dem Allerhöchsten Dispositionsfonds. Die instrumentelle Ausrüstung für die Pendel-Expedition erhielt Kohlschütter durch das Geodätische Institut; aber die Zeit war zu kurz, um eine Reihe wünschenswerter Abänderungen an mehreren Apparaten vorzunehmen. „Die günstige Gelegenheit der Grenzregulierung war für die Pendelbeobachtungen einige Monate zu früh gekommen“, schreibt er selbst.

Kohlschütter

Bereits 1900 erschien ~~der~~ Bericht über astronomische und geodätische Arbeiten der deutschen Grenzregulierungskommission ~~von Kohlschütter~~. Er läßt trotz aller Kürze deutlich erkennen, daß Kohlschütter ~~die ihm gestellte Aufgabe~~ ~~mit großer Befähigung gelöst hat, sondern~~ dabei ~~auch~~ ein neues, den Verhältnissen angepaßtes Verfahren der abschnittweisen Ausgleichung zur Anwendung gebracht hat. Viel später erschien (erst 1907) der erste Band der Ergebnisse der Pendel-Expedition, welcher lediglich die gemessene Meereshöhen behandelt. Ihre genaue Festlegung ist für die endgültige Berechnung der Schweremessungen unerläßlich. ~~Dabei~~ Sie konnten ~~sie~~ lediglich auf barometrischem Wege gewonnen werden. Kohlschütter war dadurch veranlaßt, sich eingehend mit der Luftdruckverteilung im tropischen Ostafrika zu beschäftigen. Die von ihm gegebene Lösung bezeichnet ein sachkundiger Kritiker ^(Seemann) in der Meteorologischen Zeitschrift 1908 als nach

via-

1908 ein Bericht Kohlschüppers über eine Triangulation und Meßtischaufnahme im Ukingagebirge, begleitet von einer Karte 1:100 000, welche Kohlschüppers Fähigkeit als aufnehmender Topograph in vorteilhaftester Weise zeigt. Aber die Hauptbedeutung der Arbeit liegt auf geodätischem Gebiete. Kohlschütter zeigte, daß selbst innerhalb einer ungeschlossenen Dreiecksreihe ein strenges Ausgleichverfahren möglich sei, und wies damit unserer deutschen kolonialen Kartographie neue Bahnen, auf denen ihm Uhlig und Jaeger gefolgt sind, und deren Bedeutung er in einem Schriftchen über koloniale Landesvermessung gegenüber anderen Verfahren begründete.

Auch im Reichs-Marine-Amte fielen Kohlschütter in erster Linie geodätische Aufgaben zu. Er hatte sich mit dem Ausbau des nautischen Vermessungswesens zu beschäftigen, wobei er Beobachtungs und Rechnungsmethoden miteinander in Einklang zu bringen hatte. Hierüber ist nichts an die Öffentlichkeit gekommen. Weitblickend erkannte er die hohe Bedeutung der Photogrammetrie auch für die Küstenaufnahmen, und als der *Planet* zu einer Forschungsfahrt ausgesandt wurde, wurde Kohlschütter die Veranlassung, daß an Bord photogrammetrische Beobachtungen über die Höhe der Wellen angestellt wurden. Die Auswertung der wenigen gelungenen Aufnahmen führte ihn zum Nachweise, daß die Wellentrochoiden weder kreisförmige, noch elliptische Bahnen beschreiben. In sehr vielseitiger Weise dienstlich in Anspruch genommen, hatte Kohlschütter beispielsweise auch mit der Längenbestimmung von Tsingtau zu tun. Er beschäftigte sich mit der Ausarbeitung

von

von Kimmtiefenbeobachtungen, die zur Nachweise führten, daß der Lichtstrahl infolge der Refraktion nur dann einen kreisähnlichen Bogen beschreibt, wenn Wasser und Lufttemperatur gleich sind, mit der Ortsbestimmung vom Ballon, ~~und~~ mit astronomischen Navigationen. Auch mit Instrumenten hat er sich abzugeben. Er regte die Konstruktion eines Sextanten mit Trommelablesung an und konstruierte mit dem Admiraltätsrat Rottok einen Höhengleichenzirkel.

Alles in allem bieten die Arbeiten Kohlschütter's das Bild eines ~~mann~~ tüchtigen, vielseitigen Mannes, welcher den verschiedensten Aufgaben, vor die er gestellt wird, gerecht zu werden versteht, wobei er einen gesunden, praktischen Blick mit wissenschaftlicher Gründlichkeit paart. Er geht nie schematisch, sondern stets in individueller Weise vor. Auf dem Gebiete der Geodäsie hat er namentlich die Richtungen gepflegt, welche mit der Landes- und Küstenaufnahme in engster Beziehung stehen, und dürfte deswegen besonders geeignet sein für die Direktion des Geodätischen Instituts, da von dieser Stelle aus es ~~möglich~~ möglich ist, ^{den nötigen} ~~nötigen~~ wissenschaftlichen Einfluß auf die Weiterentwicklung des deutschen Vermessungs- und Kartenwesens auszuüben.

Wenn nun aber Kohlschütter's Tätigkeit sich vornehmlich auf einem anderen Gebiete bewegt hat als die Helmert's, so ist damit doch nicht gesagt, daß er nicht auch den höchsten Aufgaben der Geodäsie gerecht zu werden vermöchte, in deren Lösung Helmert ein Meister war. Dafür bürgt nicht nur die Aufmunterung, die Kohlschütter durch Helmert erfuhr, sich an
der

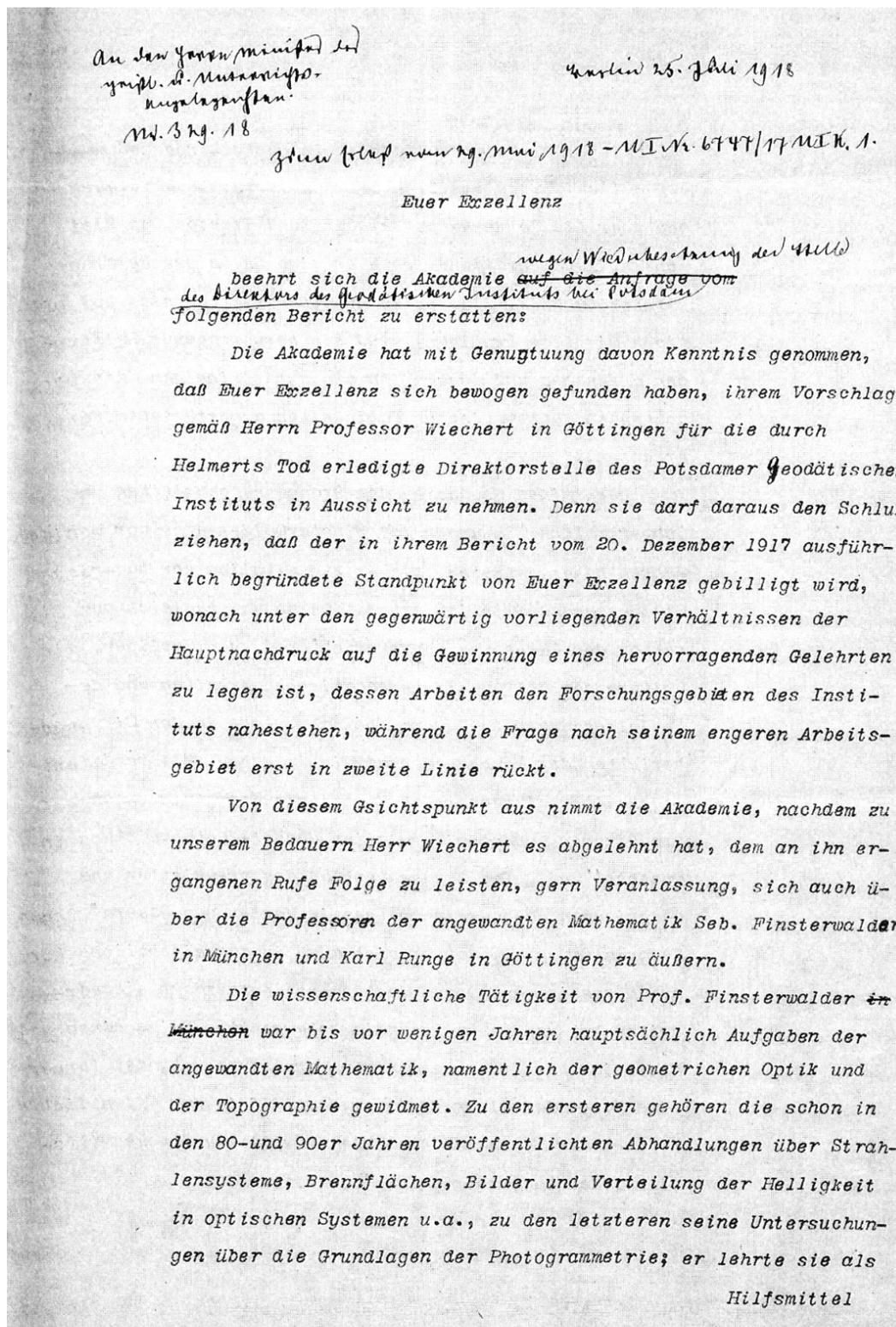
der Berliner Universität zu habilitieren, sondern auch die Tatsache, ~~wenn man nur die Tatsache~~ daß ihn Helmert für die Abfassung des Bandes Geodäsie in dem großen Sammelwerk *Kultur der Gegenwart* empfahl. Für die Leitung des großen Potsdamer Institutes dürfte von Wichtigkeit sein, daß er als Dezernent im Reichs-Marine-Amte viel organisatorische Arbeit zu leisten hatte. Auch dürfte ihm für eine Tätigkeit an der internationalen Erdmessung von Nutzen sein, daß ihn die internationale Zeitkonferenz von Paris zu ihrem ständigen Sekretär gewählt hat. Wenn seine bisherige Tätigkeit nicht bis an die höchsten Aufgaben der Geodäsie herangetreten ist, so muß immer im Auge behalten werden, daß Köhlschütter durch seinen Lebensweg vornehmlich vor praktische Aufgaben gestellt worden ist, und daß seine rein wissenschaftliche und unterrichtliche Tätigkeit nur in einer beschränkten freien Zeit möglich war, ~~und~~^{da} wegen sehr starker dienstlicher Inanspruchnahme während des Krieges ganz aussetzen mußte. Aber gerade in der Tatsache, daß Köhlschütter unter so schwierigen äußeren Verhältnissen so tüchtiges ~~Wissenschaftliches~~ leisten konnte, darf man wohl die Gewähr erblicken, daß er die Stelle, für die ihn Helmert selbst ins Auge gefaßt hat, auch ~~wird~~ wird ausfüllen können.

Penck

Dokument 11

ABBAW 14: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv
 Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Blätter 61 und 62, 1918.

Antwortbrief der Preußischen Akademie der Wissenschaften an das Kultusministerium vom
 23. Juli 1918 bzgl. des Erlasses des Ministeriums vom 29. Mai 1918 zur Neubesetzung der
 Stelle des Direktors des Geodätischen Instituts.



Hilfsmittel zu Geländeaufnahmen im Hochgebirge und ~~auch~~ auf Ballonfahrten benutzen und knüpfte daran Untersuchungen über die Vermessung, Bewegung und Erosion von Gletschern. Auch veröffentlichte er eine Reihe von Beiträgen zur Aerodynamik. Alle seine Arbeiten richten sich auf praktisch wichtige Probleme, sind als hervorragende Leistungen anzusehen und lassen ihn als scharfsinnigen, mit bedeutenden mathematischen Fähigkeiten ausgerüsteten Forscher erkennen.

Der reinen Geodäsie, den Gradmessungsarbeiten und Schwerkraftbestimmungen ist Finsterwalder erst vor wenigen Jahren näher getreten, als er zum Mitglied der bayerischen Gradmessungskommission ernannt wurde und zugleich vom Direktor der Münchener Sternwarte, Prof. von Seeliger, die Leitung der astronomisch-geodätischen Arbeiten und der Pendelmessungen in Bayern übernahm. Zwei in den Sitzungsberichten der Münchener Akademie im Jahre 1914 veröffentlichte Abhandlungen: „Das Verhältnis der bayerischen zur preußischen Landestriangulation und die Lotabweichung in München“ und „Der Zusammenschluß des preußischen und sächsischen Hauptdreiecknetzes im Norden von Bayern“ legen Zeugnis davon ab, daß er sich auch in das eigentliche Forschungsgebiet des Geodätischen Instituts rasch eingearbeitet hat und es vollständig beherrscht. Seine eingehende Kenntnis über Fragen der Landesvermessung bekundet ferner eine Festrede, die er im November 1916 in der öffentlichen Sitzung der Münchener Akademie über „Alte und neue Hilfsmittel der Landesvermessung“ gehalten hat.

Angesichts dieser Tatsachen glauben wir die Berufung von Finsterwalder an die Spitze des Geodätischen Instituts in Potsdam durchaus empfehlen zu können und halten sie unter den gegebenen Umständen, nachdem Prof. Wiechert den an ihn ergangenen Ruf abgelehnt hat, sogar für die günstigste Lösung der schwierigen Frage über die Nachfolge von Helmert, besonders auch im Hinblick darauf, daß die angesehene Stellung, welche Finsterwalder in der Wissenschaft einnimmt, eine Gewähr dafür bietet, daß er allen Anforderungen, welche die zum Teil entwickelten Beziehungen zur Landesaufnahme und zur internationalen Indemessung an den Leiter des Geodätischen Instituts stellen, gewachsen sein wird.

Finsterwalder, geb. Okt. 4. 1862, steht noch im rüstigen st Mannesalter, ist seit 1891 Ordinarius der Mathematik in München, seit 1903 ordentliches Mitglied der Bayerischen Akademie.

Der Berufung von Geheimrat Runge in Göttingen zur Leitung des Geodätischen Instituts vermögen wir dagegen nicht zuzustimmen. Runge hat einen glanzvollen Namen und hat sich auf verschiedenen Gebieten der Mathematik und Physik große Verdienste erworben. Er würde bei der Besetzung eines Lehrstuhls für angewandte Mathematik sicher in erster Linie in Frage kommen. ~~Doeh~~ ^{liegen seine Arbeiten} ~~dem Gebiete der Geodäsie und den verwandten~~ ^{der Geodäsie und den verwandten} ~~Forschungszweigen, die auf dem Potsdamer Institut gepflegt werden, zu fern, als daß durch sie seine Berufung an die Spitze des Geodätischen Instituts sich hinreichend begründen ließe,~~ ^{hat er jedoch keine Leistungen aufzuweisen,} und es ist auch kaum zu erwarten, daß er bei seinem vorgerückten Alter von 62 Jahren auf diesem Gebiete noch eine führende Rolle spielen könnte.

K. An. d. W.

W. H. D.

R. M.

P.

angew. Math. 18 K

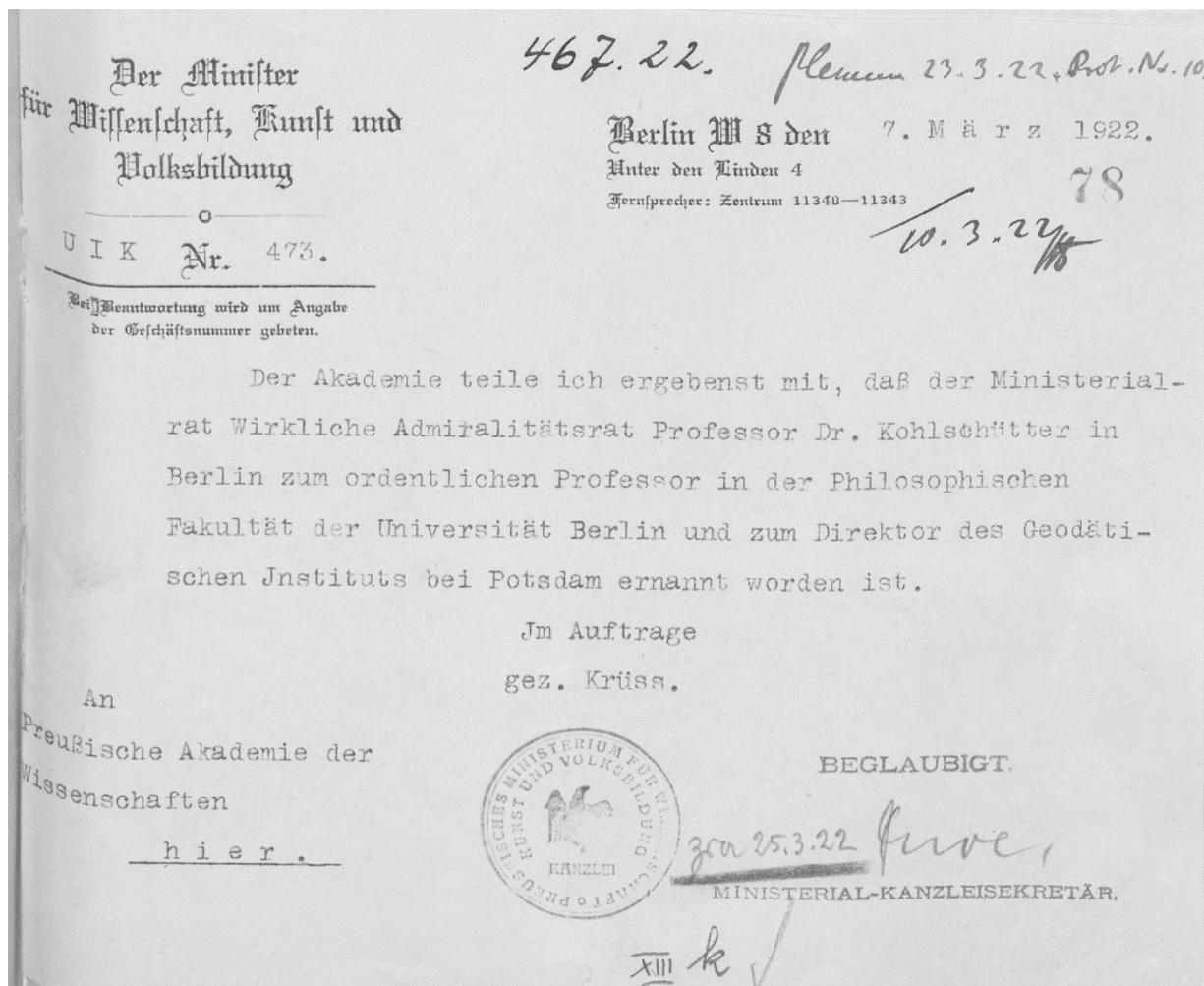
Dokument 12

ABBAW 15: Berlin-Brandenburger Akademie der Wissenschaften, Archiv, Registrade: PAW (1812-1945) II-XIV-14, Beleg 78.

Schreiben des Ministers für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung, datiert am 7. März 1922, an die Preußische Akademie der Wissenschaften zur Berufung von Prof. Dr. Kohlschütter.

Beglaubigte Abschrift.

In der Preußischen Akademie der Wissenschaften wurde das Schreiben unter Registriernummer 477.22. abgelegt und dem Plenum der Akademie am 23. März 1922 dessen Inhalt bekanntgegeben.





ISSN 2190-7110