



Internationale Grad- und Erdmessung im 19. Jahrhundert

International degree and earth measurements in the 19th century

Michael Hiermaseder, Wien

Kurzfassung

Der Beitrag zeigt, in Fortsetzung des Artikels über die Gradmessungen aus dem 18. Jahrhundert (vgl. 4/2022, S 213 ff), Bedeutung und Ergebnisse von Meridiangradmessungen im 19. Jahrhundert. Eine Gradmessung entlang von Meridianen ist einfacher durchführbar, weil die astronomischen Arbeiten nur Breitenmessungen erfordern. Für genaue kontinentale Projekte sind allerdings auch Ost-West-Profile und Messungen der geografischen Längen notwendig – die global wegen der Notwendigkeit genauer Zeitbestimmungen erst durch funktechnische Zeitsignale und Präzisions-Chronometer möglich wurden. Zur internationalen Koordinierung der Projekte wurde 1862 auf deutsch-österreichische Initiative die Mitteleuropäische Gradmessungs-Kommission gegründet, die 1867 zur Europäischen Gradmessung erweitert wurde und der Vorläufer der internationalen geodätischen Union IAG (1919) sowie der heutigen geowissenschaftlichen Union IUGG ist.

Schlüsselwörter: Gradmessung, Erdellipsoid, Geschichte, Geodäsie, Astronomie

Abstract

The article shows, in continuation of the treatise on measurements of latitude from the 18th century (vgl. 4/2022, p 213 ff), the importance and results of meridian measurements in the 19th century. A degree measurement along meridians is easier to carry out because the astronomical work only requires latitude measurements. For precise continental projects, however, east-west profiles and measurements of geographical longitudes are also necessary – which only became possible globally, due to the necessity of precise determination of time, by radio time signals and precision chronometers. The Central European Degree Measurement Commission was founded in 1862 on a German-Austrian initiative for the international coordination of the projects. It was extended in 1867 to the European degree measurement which was the forerunner of the international geodetic union IAG (1919), as well as today's geoscientific union IUGG.

Keywords: Measurement of latitude, earth ellipsoid, history, geodesy, astronomy

1. Internationale Grad- und Erdmessung

Gradmessungen dienen seit dem 16. Jahrhundert zur Vermessung der Größe und Gestalt der Erde, des Erdellipsoids. Der Name leitet sich von der genauen Bestimmung der Distanz (110,6–111,7 km), die zwischen zwei um 1° verschiedenen Breitengraden liegt, ab. Zur Messung der Erdkrümmung zwischen weit entfernten Punkten wird deren Distanz mit dem Winkel zwischen ihren astronomisch bestimmten Lotrichtungen verglichen. Der Quotient ergibt den mittleren Krümmungsradius der Erde zwischen diesen Punkten. Bei zwei Standorten der Lotrichtungsmessung in Nord-Süd-Richtung entspricht der Winkel der Differenz ihrer geographischen Breite.

Als Meridianbogen wird eine nord-südlich verlaufende Messstrecke auf der Erdoberfläche oder ihr mathematisches Äquivalent auf dem Erdellipsoid bezeichnet. Die Messstrecke kann bei der „Methode der Gradmessung“ zur Bestimmung der mittleren Erdkrümmung und damit des Erdradius dienen. Dazu müssen auch die geografischen

Breiten der beiden Streckenendpunkte (ϕ_1 , ϕ_2) gemessen werden. Diese Breitenbestimmungen erfolgen astronomisch, indem die Höhenwinkel von Sternen beobachtet werden. Die Strecke wird nun auf Meeresniveau reduziert und ihre Länge mit dem Unterschied der geografischen Breiten verglichen. Hat der Meridianbogen die Länge B und die Breitendifferenz den Betrag $\beta = |\phi_1 - \phi_2|$, so ergibt sich der lokale Krümmungsradius mit $R = B/\beta$. Zusammen mit einem zweiten Meridianbogen kann daraus die Form des Erdellipsoids abgeleitet werden. Seit etwa 1900 werden in der Geodäsie statt der Meridianmethode ausgedehnte Vermessungsnetze verwendet.

Die ersten Meridianbögen der Wissenschaftsgeschichte dienten dem Nachweis der kugelförmigen Erdfigur und ihrer Größe. Als eine merkliche Abweichung von der Kugelform – also die ellipsoidische Erdfigur – zu vermuten war, folgten im 19. Jahrhundert mehrere bedeutende Gradmessungen, die wie in Tabelle 1 angeführt in diesem Beitrag besprochen werden.

Delambre, Méchain; Arago, Biot	1792-1798 1806-1808	9°	Dünkirchen – Paris – Barcelona – Mallorca
Gauß für Hannover	1821-1823	2°	Göttingen – Altona
Indien, Lambton, Everest	1802-1841	23°	Himalaya – Kap Komorin
Struve, Tenner	1816-1852	25°	Struve-Bogen: Hammerfest – Donaumündung
Europäische Gradmessung	1867		internationale Koordination
Großenhain – Kremsmünster – Pola	1880-1910		Sachsen-Adria

Tab. 1: Gradmessungen im 19. Jahrhundert

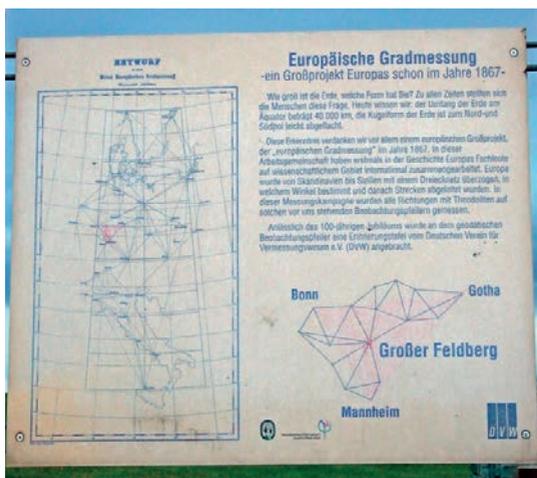


Abb. 1: Gedenktafel zur Europäischen Gradmessung 1867 auf dem Großen Feldberg im Taunus



Abb. 2: Gradmessungspfeiler Dreifaltigkeitsberg, einer der 35 Hauptpunkte des Rheinischen Dreiecksnetzes, Europäische Gradmessung 1875, Foto: Dietrich Krieger

Zur internationalen Koordinierung der genannten Großprojekte wird 1862 auf deutsch-österreichische Initiative die *Mitteeuropäische Gradmessungs-Kommission* gegründet. Langjähriger Leiter ist der preußische General Johann Jacob Baeyer. Sie wird 1867 zur Europäischen Gradmessung erweitert und ist Vorläufer der internationalen geodätischen Union IAG (1919) sowie der geowissenschaftlichen Union IUGG.

2. Referenz- und Erdellipsoide

In der Landesvermessung haben die einzelnen Staaten bis etwa 1850 ihr jeweils eigenes „geodätisches Datum“ (Bezugssystem) definiert. Mit der internationalen Verlängerung und Vernetzung der erwähnten Gradmessungs-Profile entwickelt sich die Möglichkeit den einzelnen Gebieten großräumiger gültige Daten zugrunde zu legen. So entsteht eine Reihe sogenannter Referenzellipsoide, die sich mit zunehmender Ausdehnung dem „mittleren Erdellipsoid“ annähern. Von den weltweit etwa 200 staatlichen Vermessungsnetzen basieren heute über 90% auf den Daten von einem Dutzend weiträumiger Ellipsoide, was die internationale Kooperation erleichtert. Die älteren dieser Ellipsoide beruhen auf den großen Meridianbögen des 19. Jahrhunderts, die neueren sind aus interkontinentalen und Satelliten-Netzen entstanden. Die wichtigsten dieser Ellipsoide sind in Tabelle 2 angeführt.

Für viele Staaten Mitteleuropas ist das Bessel-Ellipsoid maßgebend, ferner gibt es die Ellipsoide von John Fillmore Hayford und Krassowski und für GPS-Vermessungen das WGS 84. Die Pionierarbeit von Jean-Baptiste Joseph Delambre beruht nur auf lokalen Messungen. Der große Unterschied zwischen den Ellipsoiden von Everest (Asien) und Hayford (Amerika) entsteht hingegen durch die geologisch bedingte Geoid-Krümmung der beiden Kontinente.

Erdellipsoid	große Achse a (m)	kleine Achse b (m)	1/Abplattung f
G.B. Airy 1830	6.377.563,4	6.356.256,91	299,3249646
Everest 1830	6.377.276,345		300,8017
Bessel 1841	6.377.397,155	6.356.078,965	299,1528128
Clarke 1866	6.378.206,400		294,9786982
Clarke 1880/IGN	6.378.249,15		293,465 (466)

Tab. 2: Internationale Erdellipsoide

Mathematische Beschreibung

Ein Meridianbogen auf einem Rotationsellipsoid hat die genaue Form einer Ellipse. Daher lässt sich seine Länge *B* – gezählt vom Äquator – als elliptisches Integral berechnen und in Form einer Reihe nach Funktionen der geografischen Breite φ darstellen:

$$B = C_\varphi + D \sin 2\varphi + E \sin 4\varphi + F \sin 6\varphi + \dots \text{ usw.}$$

Der erste Koeffizient *C* hängt mit dem mittleren Erdradius zusammen und beträgt für das Bessel-Ellipsoid 111,120 km/Grad. Der zweite Koeffizient *D* hängt mit der Erdabplattung zusammen und beträgt 15,988 km. Die Werte für andere Ellipsoide unterscheiden sich ab der vierten Stelle.

Die Entwicklung mittels Exzentrizität e^2 gibt bereits Jean-Baptiste Joseph Delambre 1799:

$$\begin{aligned}
 B \approx a(1 - e^2) \left\{ \right. & \left(1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \frac{175}{256}e^6 + \frac{11025}{16384}e^8 \right) \varphi \\
 & - \frac{1}{2} \left(\frac{3}{4}e^2 + \frac{15}{16}e^4 + \frac{525}{512}e^6 + \frac{2205}{2048}e^8 \right) \sin 2\varphi \\
 & + \frac{1}{4} \left(\frac{15}{64}e^4 + \frac{105}{256}e^6 + \frac{2205}{4096}e^8 \right) \sin 4\varphi \\
 & - \frac{1}{6} \left(\frac{35}{512}e^6 + \frac{315}{2048}e^8 \right) \sin 6\varphi \\
 & \left. + \frac{1}{8} \left(\frac{315}{16384}e^8 \right) \sin 8\varphi \right\}
 \end{aligned}$$

Friedrich Robert Helmert benutzte 1880:

$$n = \frac{1 - \sqrt{1 - e^2}}{1 + \sqrt{1 - e^2}} = \frac{e^2}{4}$$

$$\begin{aligned}
 B \approx \frac{a}{1+n} \left\{ \right. & \left(1 + \frac{n^2}{4} + \frac{n^4}{64} \right) \varphi \\
 & - \frac{3}{2} \left(n - \frac{n^3}{8} \right) \sin 2\varphi + \frac{15}{16} \left(n^2 - \frac{n^4}{4} \right) \sin 4\varphi \\
 & \left. - \frac{35}{48} n^3 \sin 6\varphi + \frac{315}{512} n^4 \sin 8\varphi \right\}
 \end{aligned}$$

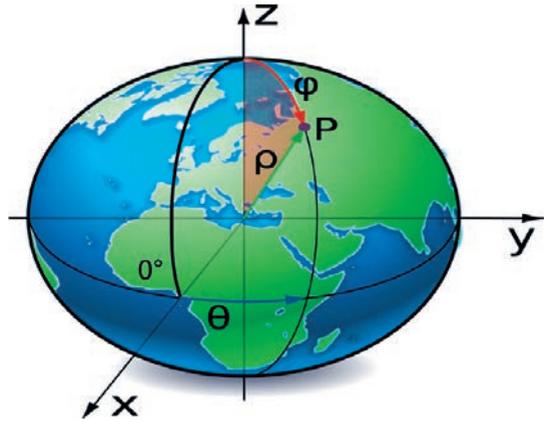


Abb. 3: Geodätisches Datum: Ellipsoid mit eindeutiger Orientierung zur Erde (https://de.wikipedia.org/wiki/Geodätisches_Datum)

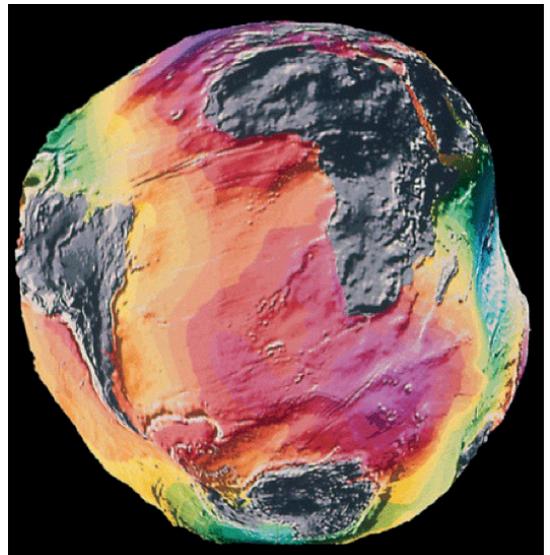


Abb. 4: Geoid, Äquipotenzialfläche im Schwerfeld der Erde (<https://www.spektrum.de/vexikon/geowissen/schatten/geoid/5630>)

3. 1806-1808 Erweiterung der Gradmessung Dünkirchen – Paris – Barcelona (1792-1799)

1791 beschließt die französische Nationalversammlung, den zehnmillionsten Teil des durch Paris führenden Erdmeridianquadranten als erdkörperbezogene Längeneinheit mit der Bezeichnung „Meter“ zu wählen. Um die Länge des Meters zu bestimmen, wird unter der Aufsicht der Pariser Akademie der Wissenschaften 1792-1799 eine Gradmessung vorgenommen, die von Dünkirchen bis Mantjouy bei Barcelona reicht und gleichzeitig auch Ausgangspunkt für ein Europa überspannendes Triangulationsnetz ist. Diese Gradmessung findet unter der Leitung der Astronomen Jean-Baptiste Joseph Delambre (1749-1822) (nördlicher Sektor) und Pierre-François-André Méchain (1744-1804) (südlicher Sektor) statt. Die Nachwirkungen der französischen Revolution erschweren die Expedition erheblich. Es werden jedoch sehr gute Ergebnisse erzielt, sodass die Gradmessung heute noch als bedeutende geodätisch-astronomische Leistung gilt.

An den Arbeiten im Zusammenhang mit der Gradmessung und der Einführung des Meters ist auch Jean-Charles Borda (1733-1799)¹ beteiligt, französischer Experimentalphysiker, Astronom und Geodät. Er entwickelt mehrere Präzisionsinstrumente, die bei der Gradmessung eingesetzt werden, wie den bekannten Repetitionskreis, den sogenannten Borda-Kreis, zur Winkelmessung in der Ebene von Stand- und Zielpunkten. Borda, ein großer Befürworter des Meridianprojektes und des metrischen Systems, und erster Vorsitzender

1) Jean-Charles de Borda (*1733 in Dax, Gascogne; †1799 in Paris), französischer Mathematiker und Seemann. 1756 wird er durch Untersuchungen über ballistische Probleme Mitglied der Académie des Sciences. Bei der Kriegsmarine beschäftigt er sich mit nautischen, astronomischen und hydraulischen Problemen. 1771 reist er mit Jean-René de Verdun de la Crenne (1741-1805) und Alexandre Guy Pingré nach Nordamerika, um die Chronometer zu prüfen, wobei er gleichzeitig die geographischen Längen und Breiten vieler Küstenpunkte, Inseln und Klippen berichtet. Die Resultate dieser Reise sind in „Voyage fait par ordre du roi en 1771 et 1772 en diverses parties de l'Europe et de l'Amerique“, 2 Bde, Paris (1778), veröffentlicht. 1774 reist Borda nach Kap Verde, den „Inseln des grünen Vorgebirges“, und nach Westafrika. Er ist Teilnehmer der französischen Gradmessung, wobei er die Maßstäbe durch ein besonderes Verfahren ermittelt und die Länge des Sekundenpendels durch eine neue Methode genau bestimmt. Wir verdanken ihm eine Methode zur Messung der Refraktion und die Erfindung der nach ihm benannten Reflexions- und Repetitionskreise (Bordakreis). Er ist Mitglied der Kommission für die neuen Maße und Gewichte. Auf ihn geht die Bezeichnung Meter bei der gesetzlichen Festlegung der Definition des Urmeters im Nationalkonvent zurück.



Abb. 5: Delambre, Méchain, Gradmessung Dünkirchen-Paris-Barcelona, 1792



Abb. 6: Urmeter, 1795

der 1790 gegründeten Kommission für Gewichte und Maße, kreiert für die neu geschaffene Längeneinheit den Namen „mètre“.

Der einzige Knotenpunkt der Kette von Triangulationsdreiecken in Paris ist das Pantheon. Die Laterne auf der Spitze der Dachkuppel ist von den benachbarten Triangulationsstationen im Umkreis der Stadt gut sichtbar und die Messungen werden von Delambre 1792-1793 durchgeführt. Zur Winkelbeobachtung vom Pantheon aus zu den Nachbarstationen im Februar und März 1793 wird für Delambre von den Architekten hoch oben in der Kuppel ein temporäres Observatorium mit vier Fenstern eingerichtet.

Der Meridian von Paris ist ein bis zur Internationalen Meridian-Konferenz verwendeter Nullmeridian. Er liegt $2^{\circ} 20' 14,025''$ östlich des seither allgemein verwendeten Meridians von Greenwich. Der Meridian von Paris führt mitten durch das Pariser Observatorium.



Abb. 7: Bordakreis (um 1800)

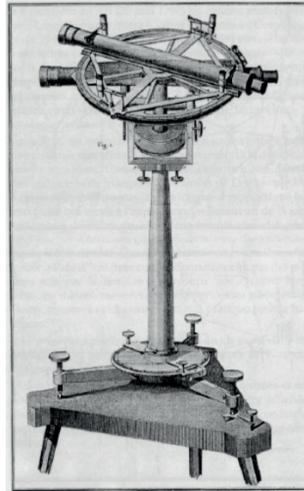


Abb. 8 (li) u. 9 (re): J. Loridan, *Voyages des Astronomes français à la recherche de la figure de la terre et de ses dimensions*, Lille 1890



Abb. 10: Salle Cassini im Pariser Observatorium mit Nullmeridian



Abb. 11: J. Dibbets, Arago-Medaillon

François Arago² wird mit siebzehn Jahren an der École Polytechnique in Paris aufgenommen. Nach dem Studium holt ihn Pierre Simon de Laplace³ an die Pariser Sternwarte. 1805 wird er Sekretär am Bureau des Longitudes. In dessen Auftrag führt er ab 1806 unter großen Schwierigkeiten und Gefahren während des spanischen Aufstands gegen Napoleon gemeinsam mit Jean-Baptiste Biot die Meridianmessungen von Pierre Méchain auf dem Meridian von Paris in Spanien und auf den Balearen zu Ende. Er berichtet darüber in seinen autobiographischen Aufzeichnungen „Geschichte meiner Jugend“.

- 2) François Jean Dominique Arago (*1786 in Estagel bei Perpignan; †1853 in Paris), französischer Astronom, Physiker und Politiker, entdeckt die magnetische Eigenschaften von Eisen durch Einwirkung von elektr. Strom.
- 3) Pierre-Simon (Marquis de) Laplace (*1749 in Beaumont-en-Auge, Normandie; †1827 in Paris), französischer Mathematiker, Physiker und Astronom. Er beschäftigt sich unter anderem mit der Wahrscheinlichkeitstheorie und mit Differentialgleichungen.

1808 wird Arago auf Mallorca wegen des in der damaligen politischen Lage extrem verdächtigen Entzündens eines Leuchtfuers auf einer Bergspitze festgenommen, kann jedoch entkommen. Biot ist schon vorher nach Frankreich zurückgekehrt. Die Gradmessung führt nicht nur zu mehrmonatiger Festungshaft für Arago, sondern findet durch den Reisebericht von George Sand auch Eingang in die Weltliteratur⁴: *Von Napoleon mit der Messung des Meridians beauftragt, befand sich M. Arago 1803 auf Mallorca auf dem Berg Clot de Galatzo, als er die Nachricht von den Ereignissen in Madrid und der Entführung Ferdinands erhielt. ... Dieser Berg befindet sich oberhalb der Küste, wo Jaime I. landete, als er Mallorca von den Mauren eroberte; und da M. Arago dort oft Feuer für seinen eigenen Gebrauch anzünden ließ, stellten sich die Mallorquiner vor, er gebe einem französischen Geschwader mit einer Landungsarmee Signale. ... M. Arago sprach die Sprache des Landes sehr gut, beantwortete in Palma alle Fragen und wurde nicht erkannt. ... Am nächsten Tag, als sich am Ufer ein bedrohlicher Mob gebildet*

4) Chargé par Napoléon de la mesure du méridien, M. Arago était, en 1803, à Majorque, sur la montagne appelée le Clot de Galatzo, lorsqu'il reçut la nouvelle des événements de Madrid et de l'enlèvement de Ferdinand. L'exaspération des habitants de Majorque fut telle alors qu'ils s'en prirent au savant français, et se dirigèrent en foule vers le Clot de Galatzo pour le tuer. Cette montagne est située au-dessus de la côte où descendit Jaime Ier lorsqu'il conquiert Majorque sur les Maures; et comme M. Arago y faisait souvent allumer des feux pour son usage, les Majorquins s'imaginèrent qu'il faisait des signaux à une escadre française portant une armée de débarquement. Un de ces insulaires nommé Damian, maître de timonerie sur le brick affecté par le gouvernement espagnol aux opérations de la mesure du méridien, résolut d'avertir M. Arago du danger qu'il courait. Il devança ses compatriotes, et lui porta en toute hâte des habits de marin pour le déguiser.

M. Arago quitta aussitôt sa montagne et se rendit à Palma. Il rencontra en chemin ceux-là mêmes qui allaient pour le mettre en pièces, et qui lui demandèrent des renseignements sur le maudit gabacho dont ils voulaient se défaire. Parlant très bien la langue du pays, M. Arago répondit à toutes leurs questions, et ne fut pas reconnu. ... Le lendemain, un attroupement menaçant s'étant formé sur le rivage, le capitaine Vacaro avertit M. Arago qu'il ne pouvait plus désormais répondre de sa vie; ajoutant, sur l'avis du capitaine général, qu'il n'y avait pour lui d'autre moyen de salut que d'aller se constituer prisonnier dans le fort de Belver. On lui fournit à cet effet une chaloupe sur laquelle il traversa la rade. Le peuple s'en aperçut, et, s'élançant à sa poursuite, allait l'atteindre au moment où les portes de la forteresse se fermèrent sur lui. M. Arago resta deux mois dans cette prison, et le capitaine général lui fit dire enfin qu'il fermerait les yeux sur son évasion. Il s'échappa donc par les soins de M. Rodriguez, son associé espagnol dans la mesure du méridien.

George Sand, Un hiver à Majorque, Nohant 1855

hatte, warnte Kapitän Vacaro M. Arago, dass er nicht länger seines Lebens sicher sein könne. Auf Anraten des Generalkapitäns fügte er hinzu, dass es keine andere sichere Möglichkeit für ihn gab, als sich im Fort von Belver gefangen zu geben. Zu diesem Zweck wurde ihm ein Boot zur Verfügung gestellt, mit dem er die Reede überquerte. Die Leute merkten es und stürzten ihm nach, wollten ihn in dem Augenblick erreichen, als sich die Tore der Festung hinter ihm schlossen. M. Arago blieb 2 Monate in diesem Gefängnis, und der Generalkapitän ließ ihm schließlich mitteilen, dass er die Augen bei seiner Flucht zudrücken würde. Er entkam mithilfe von Herrn Rodriguez, seinem spanischen Mitarbeiter bei der Meridianmessung.

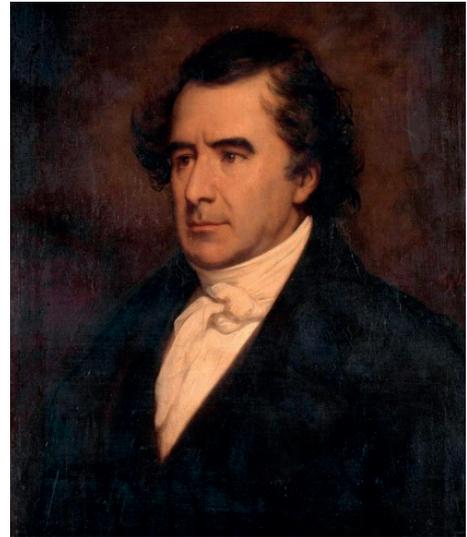


Abb. 12: François Arago



Abb. 13: Jean Baptiste Biot



Abb. 14: Castell de Bellver



Abb. 15: Puig de Galatzó

Erst 1809 kehrt Arago nach einer weiteren Gefangenschaft nach Frankreich zurück, wird mit 23 Jahren zum Mitglied der Pariser Akademie der Wissenschaften gewählt und zum Professor für Geodäsie und analytische Geometrie an der École polytechnique berufen.

4. 1821-1823 – Gradmessung Göttingen – Altona

Der deutsche Astronom und Geodät Heinrich Christian Schumacher (1780-1850)⁵ führt im Auftrag des dänischen Königs Friedrich IV. 1817-1820 Triangulationsmessungen für eine dänische Gradmessung durch. Zusammen mit seinem Freund, Carl Friedrich Gauß (1777-1855)⁶, entwickelt er gleichzeitig den Plan, das dänische Dreiecksnetz der Gradmessung, das sich von Jütland im nördlichen Dänemark bis zur dänischen Sternwarte in Altona erstreckt, weiter nach Süden zu erweitern und dabei auch das Königreich Hannover neu zu vermessen. Gauß und Schumacher überzeugen den britischen König Georg IV. von ihrem Vorhaben.

1820 wird Carl Friedrich Gauß von König Georg IV., der zugleich König von Hannover ist, zum Leiter der hannover'schen Gradmessung ernannt,

und erhält von ihm den Befehl, das Königreich Hannover zu vermessen und die neue Triangulation mit der dänischen im Norden, der hessischen im Süd-Westen und der preußischen im Süd-Osten zu verbinden.



Abb. 16: Heinrich Christian Schumacher

5) Heinrich Christian Schumacher (*1780 in Bramstedt; †1850 in Altona/Elbe), deutscher Astronom und Geodät.

6) Johann Carl Friedrich Gauß (*1777 in Braunschweig; †1855 in Göttingen, Königreich Hannover), deutscher Mathematiker, Statistiker, Astronom, Geodät, Elektrotechniker und Physiker. Wegen seiner überragenden wissenschaftlichen Leistungen gilt er bereits zu seinen Lebzeiten als Princeps mathematicorum. Seine Tätigkeit erstreckt sich neben der reinen Mathematik auch auf angewandte Gebiete, zum Beispiel ist er mit der Landesvermessung des Königreichs Hannover beauftragt, er erfindet zusammen mit Wilhelm Eduard elektromagnetische Telegrafie über längere Strecken, entwickelt Magnetometer und initiiert ein weltweites Netz von Stationen zur Erforschung des Erdmagnetismus.



Abb. 17: Kiekeberg bei Hamburg, TP Vahrendorf 4/2525, Trig.Punkt 1.Ordn. d.Europ.Gradmessung 1868 (Foto: Reinhard Kraasch, Lizenz: CC-BY-SA 4.0 DE)

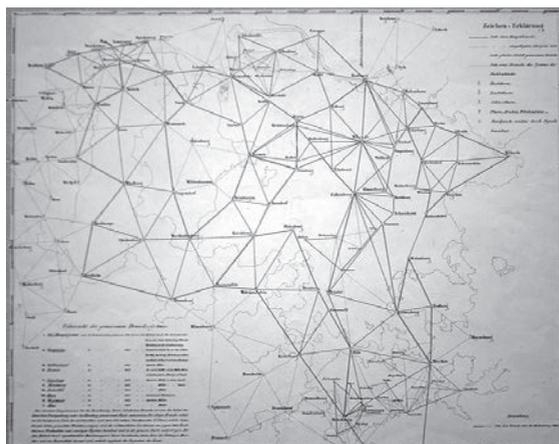
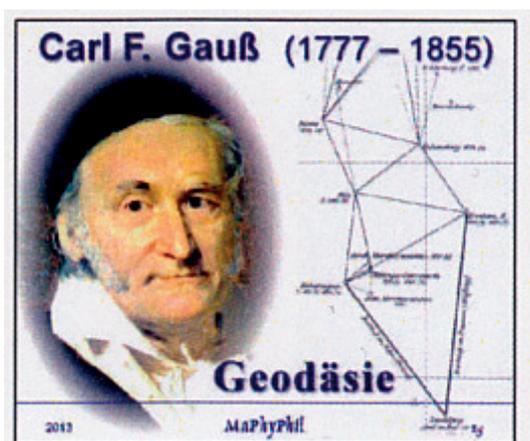


Abb. 18: Carl Friedrich Gauß und die gemessenen Dreieckssysteme 1821-1844

Ende 1820 beginnt Gauß mit der Vorbereitung der Gradmessung, die eigentlichen Winkelmessungen starten 1821. Als Nullpunkt seines Triangulationsnetzes wählt Gauß die Göttinger Sternwarte. Von dort aus erstellt er ein Dreiecksnetz bis zur dänischen Sternwarte in Altona. Mit der Dreiecksseite Hoher Hagen-Inselsberg ist die Verbindung mit der hessischen Triangulation gegeben. Die Strecke Brocken-Inselsberg bildet den Anschluss an die preußische Triangulation. Bis 1823 erweitert Gauß das Dreiecksnetz bis zum dänischen Netz in Hamburg-Hohenhorn.

1824-1825 wird von Gauß eine Verbindungsmessung zwischen dem dänisch-hannoverschen Dreiecksnetz und der niederländischen Triangulation durchgeführt. Darüber hinaus beginnen Landesvermessungen in Hessen, Bayern, Österreich und Norditalien, sodass ein durchgängiges Dreiecksnetz von Jütland bis Norditalien entsteht. 1828 beginnt die hannoverschen Landesvermessung, die ebenfalls von Gauß geleitet wird. Hierbei wird das Dreiecksnetz der Gauß'schen Gradmessung verdichtet und ergänzt, um das Königreich Hannover vollständig zu triangulieren. Aufgrund seines Gesundheitszustandes und Alters werden die Vermessungsarbeiten nicht mehr von Gauß selbst geleitet, er führt aber alle Berechnungsarbeiten durch. Die hannoversche Landesvermessung mit 2578 trigonometrischen Punkten dauert bis 1844.

Im Rahmen der von Carl Friedrich Gauß zwischen 1818 und 1826 per Triangulation durchgeführten Landes-

vermessung des Königreichs Hannover vermisst Gauß auch sein „großes Dreieck“ Hoher Hagen – Brocken – Großer Inselsberg. Dieses Dreieck mit den Seitenlängen 69 km (Hoher Hagen – Brocken), 84 km (Hoher Hagen – Inselsberg) und 106 km (Brocken – Inselsberg) ist Basis für die Verknüpfung zahlreicher regionaler Vermessungsdaten.

Da Gauß schon damals eine Nichteuklidische Geometrie für möglich hält und weiß, dass das Parallelenaxiom entbehrlich ist, entsteht durch die Vermessung des großen Dreiecks die Legende, Gauß habe bei der Gelegenheit der hannoverschen Landesvermessung empirisch nach einer Abweichung der Winkelsumme besonders großer Dreiecke vom euklidischen Wert von 180° gesucht, wie etwa bei diesem Dreieck, das vom Hohen Hagen, dem Brocken und dem Inselsberg gebildet wird. Die Vermessung durch Gauß ist belegt, die Vermutung zur Motivation ist unsicher.



Abb. 19: Gedenktafel auf dem Brocken

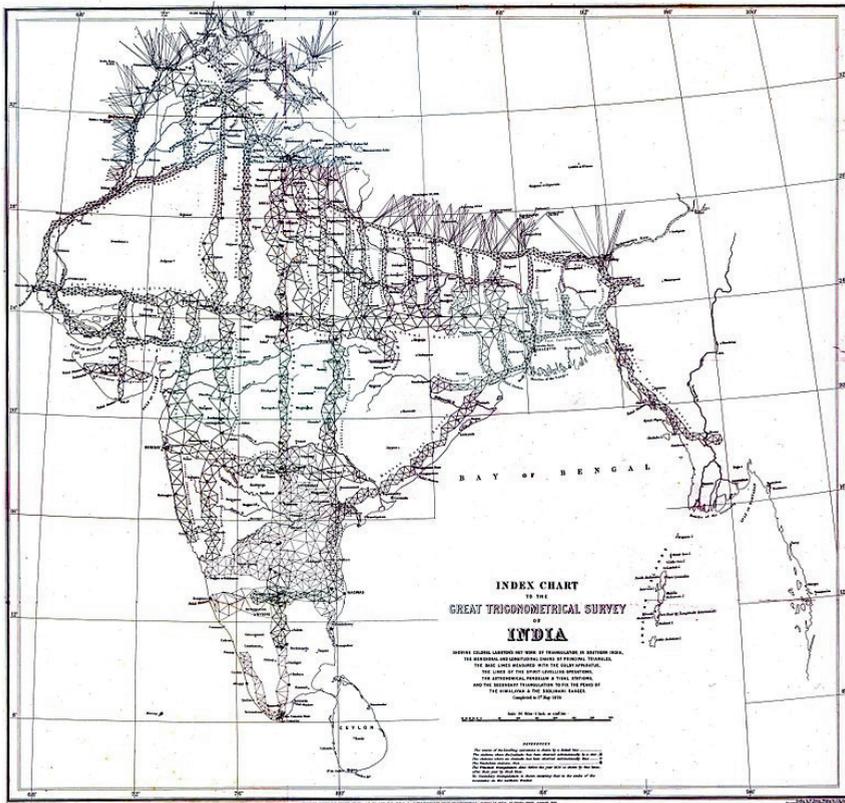


Abb. 20: Indekskarte des Great Trigonometric Survey of India, 1870

5. 1800-1852 – Gradmessung in Indien (Great Trigonometric Survey)

Im 18. Jahrhundert hat die British East India Company zwar eine Reihe mehr oder weniger zusammenhängender Besitzungen in Indien, der Subkontinent ist für Europäer aber immer noch unbekanntes Land. Zunächst werden vor allem die Küsten von den Schiffen der East India Company aus mit Hilfe von Kompass-Peilungen und astronomischen Ortsbestimmungen vermessen, ein notwendigerweise ungenaues Verfahren. James Rennell, von 1767 bis 1777 Surveyor-General of Bengal, hat große Teile von Bengalen vermessen sowie die Provinzen entlang des Ganges bis kurz vor Delhi kartographiert und 1779 im Bengal Atlas veröffentlicht, dem 1783 die erste geographisch exakt erscheinende Karte Indiens folgt. Eine Reihe weiterer Vermessungen sind von anderen Beauftragten der East India Company durchgeführt worden, die Karten beruhen aber weitgehend auf Längenmessungen und astronomischen Ortsbestimmungen und sind deshalb ungenau und nicht frei von Widersprüchen. Um die Wende zum 19.

Jahrhundert ist Fachleuten klar, dass die erforderliche Genauigkeit nur mit einer dreidimensionalen, trigonometrischen Vermessung erzielt werden könne.

Im Dezember 1799 schlägt der britische Oberst William Lambton (1756-1823)⁷ vor, eine große Vermessung quer durch den indischen Subkontinent entlang des 78. östlichen Längengrades durchzuführen, um die Lage wichtiger Punkte festzulegen, die den Landvermessern bei ihrer Arbeit helfen und als Basisnetz von Referenzpunkten

7) Lt.Col. William Lambton, FRS (ca.1753-1820 oder 1823), britischer Offizier, Vermesser und Geograph, beginnt 1800/1802 eine Triangulationsvermessung, die als Great Trigonometrical Survey of India bezeichnet wird. Seine erste Vermessung besteht darin, die Länge eines Bogengrades des Meridians zu messen, um die Form der Erde zu bestimmen und eine trigonometrische Vermessung in größerem Maßstab über die Breite des indischen Subkontinents zwischen Madras und Mangalore zu unterstützen. Nachdem er über Indien trianguliert hat, setzt er seine Untersuchungen mehr als 20 Jahre lang nach Norden fort. Er stirbt während der Vermessung in Zentralindien und ist in Hinganghat im Bezirk Wardha in Maharashtra begraben.



Abb. 21: William Lambton

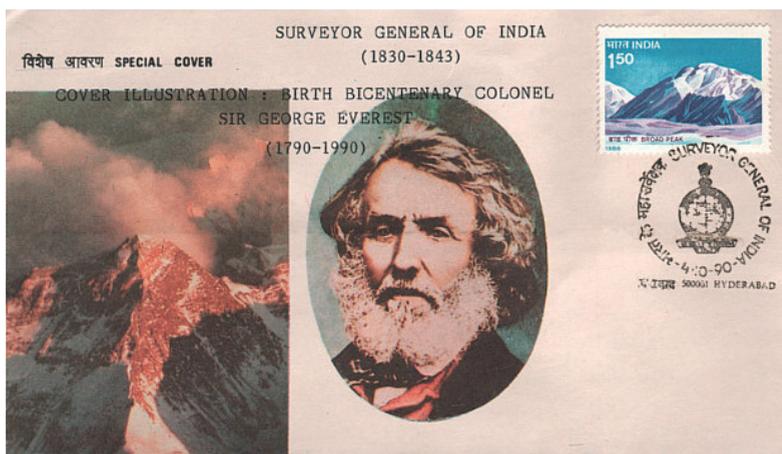


Abb. 22: Sir George Everest

zur genaueren Vermessung und Kartierung von Indien dienen sollen. Gleichzeitig soll das entlang des Meridianbogens angelegte Triangulationsnetz eine exakte Berechnung der Erdkrümmung ermöglichen. Das Vermessungsprojekt wird später als Great Trigonometric Survey – GTS (Große Trigonometrische Vermessung) bezeichnet.

Am 6. Februar 1800 wird die Vermessung formal angeordnet. Die Vermessungsarbeiten beginnen am 10. April 1802 mit der Festlegung einer 12 km langen Basislinie von St. Thomas Mount in der Nähe von Madras bis zu einem Hügel bei Pallavaram. Von dieser Basislinie ausgehend wird eine Reihe von Dreiecken bis in das Mysore-Plateau übertragen, und 1804 wird eine zweite Basis in der Nähe von Bangalore vermessen. Von hier werden dann ab 1806 Triangulationsdreiecke entlang der Halbinsel von der nördlichen Grenze des britischen Territoriums (100 Meilen nördlich von Bangalore) bis nach Cape Comorin (Kanyakumari) im Süden gelegt.

1818 wird der britische Vermessungsingenieur George Everest (1790-1866)⁸ Assistent der trigonometrischen Vermessung Indiens unter Oberst Lambton. Nach dessen Tod (zu diesem Zeitpunkt erstreckte sich der vermessene Teil des Meridianbogens über 10 Grad) leitet Everest die Vermessungsarbeiten von 1823 bis 1843. 1841 vollendet er die indische Meridiangradmessung. Noch nie ist ein Land so exakt vermessen worden und die Genauigkeit ist in Anbetracht der Mittel des 19. Jahrhunderts erstaunlich. In den folgenden 40

Jahren wird ein geometrisches Netz von Triangulationsdreiecken angelegt, das sich über 2400 km entlang des indischen Subkontinentes erstreckt und schließlich zur Bestimmung der Meridianbogenlänge diente. Dieses Triangulationsnetz ist als „Great Arc Series“ oder „Great Indian Arc of the Meridian“ bekannt. Er ist einer der längsten Meridianbögen der damaligen Erdmessung und eines der größten wissenschaftlichen Projekte jener Zeit. Neben der Messung des Meridianbogens verfolgt Everest auch die Vermessung weiterer Linien seines eisernen Rasters, wie die schon von ihm unter Lambton begonnene rund 500 km lange Serie auf dem Breitenkreis von Bombay bis zu dem Meridianbogen sowie eine Reihe von Serien zwischen der Triangulationsserie Sironj – Kalkutta und der Grenze von Nepal.

Die längste der zahlreichen Triangulationsserien ist die von Dehradun nach Osten entlang des Himalaya bis in die Region südlich von Darjeeling, wo in Sonakhoda in der Nähe von Jalpaiguri eine weitere Basislinie erstellt wurde. Da die nepalesische Regierung keinen Zugang zu ihrem Territorium gewährt, müssen die Arbeiten zwischen 1845 und 1850 mit großen Verlusten durch die malarieverseuchten Dschungel- und Sumpfgelände des Terai am Fuße des Himalaya geführt werden. Die verschiedenen Vermessungstrupps nehmen auch Peilungen zu 79 weit entfernten hohen Gipfeln des Himalaya vor, die den Briten zum Teil noch unbekannt und nirgends präzise verzeichnet sind. Während bei den Triangulationsserien meist Dreiecke mit Kantenlängen von etwa 30 bis 50 und nicht mehr als 100 km vermessen werden, ergeben sich nun Dreiecke mit Kantenlängen zwischen 130 km und mehr als 200 km. Die Berechnungen

8) Sir George Everest (*1790 in Crickhowell, Powys, Wales; †1866 in London), britischer Geodät und Offizier, Leiter der Großen Trigonometrischen Vermessung Indiens und Surveyor General of India.

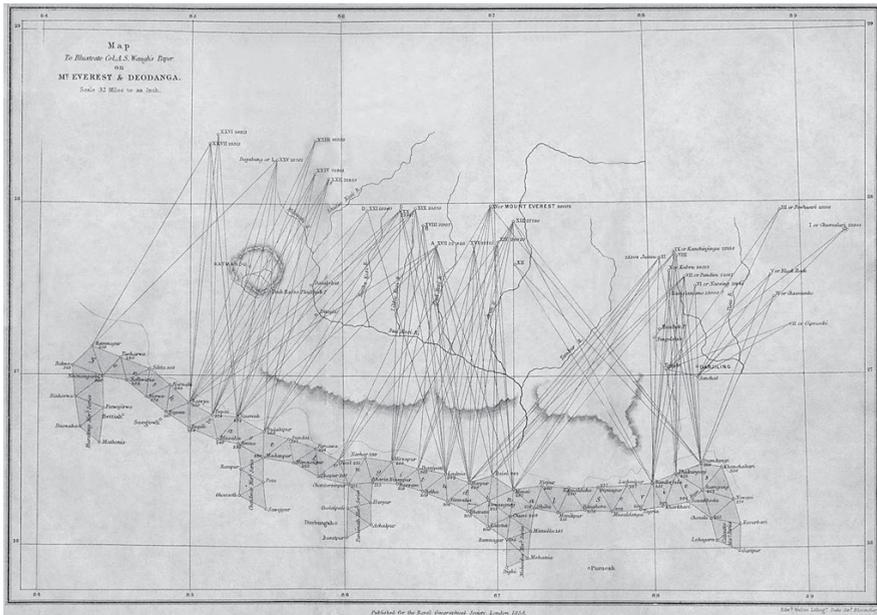


Abb. 23: Triangulation entlang des Himalaya und Peilungen auf seine Gipfel, 1858

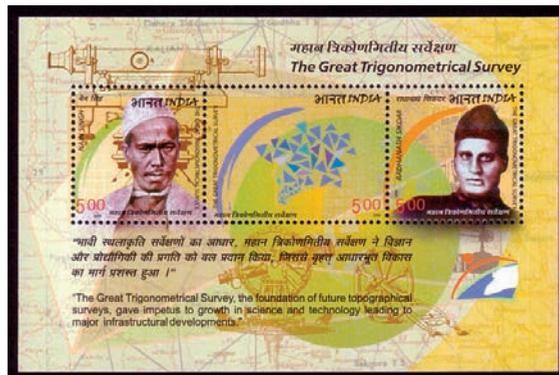


Abb. 24: Nain Singh und Radhanath Sikdar

des von Everest 1831 als mathematischer Gehilfe eingestellten und mittlerweile zum Chief Computer des Survey of India aufgestiegenen Radhanath Sikdar⁹ kommen 1852 zu dem Ergebnis, dass Peak XV mit 29.002 Fuß (8.840 m) der höchste der angepeilten Gipfel und damit wahrscheinlich der höchste Berg der Welt sei. Nach zahlreichen Überprüfungen und Kontrollrechnungen teilt Andrew Waugh dieses Ergebnis der Royal Geographical Society in einem Schreiben vom 1. März 1856 mit, das in deren Versammlung vom 11. Mai 1857 verlesen wird. Da aus der großen Entfernung

nicht festzustellen gewesen sei, wie die örtliche Bevölkerung den Berg nenne, habe er ihn zu Ehren seines Vorgängers Mount Everest genannt.

Zur Erinnerung an die trigonometrische Vermessung Indiens und die dabei durchgeführte Gradmessung hat die Indische Post im Jahr 2004 auf einem Briefmarkenblock neben einer Karte mit den Triangulationsdreiecken, historischen Vermessungsgeräten und symbolischen Darstellungen der Gradmessung und Triangulation auch zwei indische Vermesser dieser Zeit abgebildet, Nain Singh¹⁰ und Radhanath Sikdar.

9) Radhanath Sikdar (1813-1870), seit 1840 bei der Gradmessung (GTS), berechnet die Höhe des Mount Everest und stellt fest, dass er der höchste Berg der Welt ist.

10) Nain Singh (1826-1882) kartiert die Handelsroute nach Tibet, ermittelt Koordinaten und Höhe von Lhasa.



Abb. 25: Friedrich Georg Wilhelm Struve Abb. 26: Christopher Hansteen

6. 1816-1852 – Gradmessung Hammerfest – Donaumündung (Struve-Bogen)

Die größte Gradmessung der Epoche wird von Friedrich Georg Wilhelm Struve (1793-1864)¹¹, dem Direktor der Sternwarte Dorpat, später der Sternwarte in Pulkowo bei St. Petersburg, und vom russischen General Carl F. Tenner (1783-1859)¹² zwischen der Donaumündung und dem nördlichen Eismeer ausgeführt. Das Netz der geodätischen Vermessungspunkte, der sogenannte Struve-Bogen, reicht von Fuglenaes bei Hammerfest am Nordkap ($70^{\circ}40'$) bis Staro-Nekrassowka bei Izmajil am Schwarzen Meer ($45^{\circ}20'$) und durchläuft dabei von Norden nach Süden das Gebiet der heutigen Staaten Norwegen, Schweden, Finnland, Russland, Estland, Lettland, Litauen, Weißrussland, Moldawien und Ukraine. Der Struve-Bogen erstreckt sich damit in Nord-Süd-Richtung über insgesamt 2821,833 km (= ca. 25 Grad) und besteht aus insgesamt 265 Hauptvermessungspunkten in 259 Triangulationsdreiecken (225 im damaligen Russland und 34 in skandinavischen Ländern). Die Messungen werden 1816-1852 in drei Peri-

11) Friedrich Georg Wilhelm Struve, (seit 1831) von Struve, (Василий Яковлевич Струве); (*1793 in Altona; †1864 in Pulkowo bei Sankt Petersburg), deutscher Astronom und Geodät, der im Baltikum und in Russland arbeitete. Er veröffentlichte bedeutende Arbeiten über Doppelsterne und führte umfangreiche geodätische Vermessungen durch.

12) Carl Friedrich Tenner (Карл Иванович Теннер) (*1783 in Auvere, Gouvernement Estland; †1860 in Warschau, Königreich Polen), deutschbaltischer Geodät und Astronom. Er zählt zu den Begründern der modernen Geodäsie im Russischen Kaiserreich.

oden ausgeführt. Zunächst werden Bögen zwischen Belin und der Insel Hochland im Finnischen Meerbusen gemessen, ab 1832 werden sie dann bis Tornea, dem Südpunkt der Messung von Maupertuis 1736-1737 erweitert. Ab 1845 wird der Bogen sowohl im Norden als auch im Süden bis zu seinen Endpunkten weiter fortgesetzt. Insgesamt werden 10 Grundlinien gemessen und in 13 Punkten die Polhöhe bestimmt. Diese

Vermessung stellt die erste genaue Bestimmung eines so langen Meridianabschnitts dar, und hat dazu beigetragen, die genaue Größe und Form des Planeten zu bestimmen, und einen wichtigen Schritt in der Entwicklung der Geowissenschaften und der topografischen Kartierung markiert. Es ist ein Beispiel für die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern aus verschiedenen Ländern. Mit Hilfe der Triangulation und der Breitenmessungen kann die Ellipsenform der Erde mit bemerkenswerter Präzision bestimmt werden. Die Messgenauigkeit beträgt im Mittel 4 mm pro km (in Norwegen 15 mm pro km). Frühere Messungen von Charles Marie de La Condamine und Pierre-Louis Moreau de Maupertuis in Peru und Lappland (1736-1745) haben eine Abflachung der Pole von $1/178$ und einen Äquatorradius von 6396,800 km ergeben. Die Messungen des Struve-Bogens korrigieren das zu $1/294,26$ und einen Äquatorradius von 6378,3607 km. Aktuelle Messungen mittels Satellitentechnik (2005) ergeben ein Verhältnis von $1/298,257222101$ und einen Äquatorradius von 6378,1368 km.

Der nördlichste Teil des Bogens von Fuglenaes bei Hammerfest (bei $70^{\circ}40'$) bis Atjik (bei $68^{\circ}54'$) wird 1845-1850 unter der Leitung des norwegischen Astronomen und Mathematikers Christopher Hansteen (1784-1873)¹³ gemessen.

2005 wird der Struve-Bogen von der UNESCO als frühes Beispiel für die internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit in die Liste des

13) Christopher Hansteen (*1784-†1873 in Christiania (heute Oslo)), norwegischer Astronom.

Weltkulturerbes der Menschheit aufgenommen. Repräsentiert wird er durch 34 noch erhaltene, ausgewählte Messpunkte, die gleichmäßig über den kompletten Bogen verteilt sind, 4 Punkte in Norwegen, 4 in Schweden, 6 in Finnland, 2 in Russland, 3 in Estland, 2 in Lettland, 3 in Litauen, 5 in Weißrussland, 1 in Moldawien und 4 in der Ukraine. Weitere erhaltene Stätten des Bogens stehen unter nationalem Schutz. Die Markierungen haben unterschiedliche Formen: kleine Löcher, die in Felsoberflächen gebohrt und manchmal mit Blei gefüllt sind, kreuzförmige Gravuren auf Felsoberflächen, Stein oder Ziegel mit Markierungseinsatz, Felsstrukturen mit einem zentralen Stein oder Ziegel, der durch ein Bohrloch markiert ist, einzelne Steine, sowie speziell konstruierte Denkmäler zur Erinnerung an den Punkt und den Bogen.

Weißrussland hat 2007 einen Briefmarkenblock herausgegeben, der neben den Verlauf des Struve-Bogens auch verschiedene Messgeräte und Messanordnungen zeigt (Abbildung 27). Die Abbildungen stammen aus dem 2. Band der im Jahre 1728 in London veröffentlichten Cyclopaedia. Dieses vom Ephraim Chambers (ca. 1680-1740) herausgegebene zweibändige Werk gilt als die erste englischsprachige Enzyklopädie, die im 18. Jh. sehr bekannt war:

Eine Ausgabe von 2017 zeigt neben den Porträts der Verantwortlichen für die Messungen am Struve-Bogen, Struve, Tenner und Hodzko, ein Denkmal, das auf dem Punkt Nr. 26 in Lopaty (Lapaty) in der Grodno-Region errichtet wurde (Abbildung 28). Außerdem ist ein Teil der Dreieckskette auf dem Gebiet von Weißrussland abgebildet. Mit blauen Dreiecken sind darin die 5 Messpunkte dargestellt, die in die UNESCO-Welterbeliste aufgenommen wurden (Tupiski, Lapaty, Asaunica, Cakuck und Lieskavicy). Am Rand ist ein Dreibein mit dem Signalaufbau zu sehen, der neben dem Stein auf den 5 Punkten errichtet worden ist.

2008 hat Moldawien anlässlich des 160. Jahrestages der Messung des Struve-Bogens auf dem Territorium der Republik Moldawien eine Briefmarke herausgegeben, die ein Denkmal im Ort Rudy am rechten Ufer des Dnisters im äußersten Norden Moldawiens zeigt, das an den geodätischen Struve-Bogen erinnert und an der Stelle eines der festen Messpunkte der Dreieckskette steht (Abbildung 29). Die Abbildungen auf dem Umschlag zeigen neben zwei Vermessungsinstrumenten aus damaliger Zeit auch ein Porträt von F.G.W. Struve sowie den Verlauf des Dreiecksnetzes auf dem Territorium Moldawiens mit



Abb. 27: Der Struve-Bogen – UNESCO-Weltkulturerbe (Weißrussland 2007)



Abb. 28: Struve-Bogen, rechts unten das Denkmal am Punkt Lopaty (Weißrussland 2017)

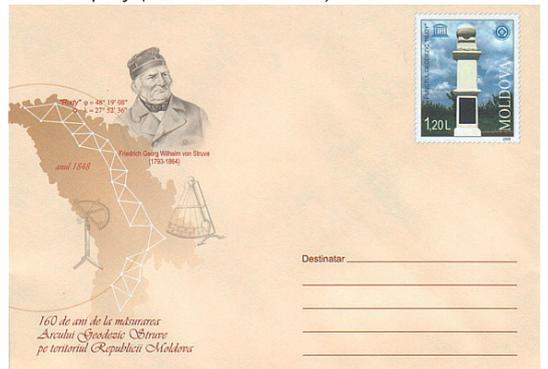


Abb. 29: Struve-Bogen – 160. Jahrestag der Messung in Moldawien 2008



Abb. 30: Struve-Bogen – 200. Jahrestag des Beginns der Messungsarbeiten



Abb. 31: Struve-Bogen – UNESCO-Weltkulturerbe (Litauen 2009)



Abb. 32: Struve-Bogen – UNESCO-Weltkulturerbe (Lettland 2011)

der gekennzeichneten Lage des „Rudy“-Punktes. Insgesamt besteht das Dreiecksnetz aus 27 festen Messpunkten in Moldawien.

Briefmarken in Blockform von 2016, anlässlich der 200 Jahre seit dem Anfang der Vermessungsarbeiten am Struve-Bogen, stellen neben dem Messpunkt in Rudy die gesamte Triangulationskette sowie das Netz in Moldawien dar (Abbildung 30).

Litauen hat das Jubiläum 2009 gewürdigt. Von insgesamt 18 Messpunkten des Struve-Bogens, die sich auf dem Gebiet Litauens befinden, sind drei Punkte besonders gekennzeichnet: ein Punkt im Bezirk Rokiskis (Dorf Gireisiai) und zwei im Bezirk Vilnius (in den Dörfern Paliepiukai und Meskonys). Diese drei Messpunkte sind in der UNESCO-Weltkulturerbeliste eingetragen.

Die erste Briefmarke zeigt neben dem Porträt von Struve den Gesamtverlauf des Struve-Bogens. Auf der zweiten Briefmarke ist das Denkmal auf dem geodätischen Punkt im Dorf Meskonys (Meschkanzi) dargestellt, das am 16. Juni 2006 der Öffentlichkeit vorgestellt worden ist. Außerdem zeigt sie den Verlauf des Triangulationsnetzes auf litauischem Territorium. Auf dem Rand der Kleinbögen sind Messinstrumente aus der Epoche sowie Signalaufbauten dargestellt (Abbildung 31).

Lettland zeigt neben dem Porträt von Struve an einem Theodoliten die Bodenplatten/-steine der beiden trigonometrischen Punkte der Dreiecks-kette, die in Lettland zum UNESCO-Weltkulturerbe gehören, die Punkte Nr. 20 in Sestukalns und Nr. 21 in Jekabpils (Abbildung 32). Der Punkt Sestukalns, auf dem damals geodätische Vermessungen ausgeführt worden sind, befindet sich in der Gemeinde Sausneja des Bezirks Madona auf dem Gipfel eines Möränenhügels, 216,5 m über dem Meeresspiegel. Auf dem Punkt Jekabpils (im 19. Jh. – Jakobstadt) sind im Rahmen des Struve-Bogens sowohl geodätische Vermessungen als auch astronomische Beobachtungen durchgeführt worden. Heute befindet sich dieser Punkt im historischen Zentrum von Jekabpils – im Struve-Park am südlichen Ufer des Düna-Flusses (Daugava). Die Straße, die entlang des Parks führt, heißt „Struve-Straße“. Gegenwärtig sind beide Messpunkte ein Teil des geodätischen Basis-Triangulationsnetzes 1. Ordnung Lettlands. Ferner sind Luftbilder der Gebiete und der lettische Ausschnitt der Dreieckskette mit rot mar-

kerten Punkten und ein für die Messungen von Dreiecksnetzen typischer Triangulationsturm über einem der Punkte dargestellt.

Estland stellt neben dem Struve-Porträt auch das Gebäude der Sternwarte von Tartu (damals: Dorpat) dar, deren Direktor F.G. Struve 15 Jahre lang war (Abbildung 33). Die Sternwarte Tartu ist einer von 3 Messpunkten in Estland, die in die UNESCO-Weltkulturerbeliste eingetragen sind, und sie spielt eine wichtige Rolle bei der Meridianbogenvermessung (Abbildung 34). Hier befindet sich der Zentralpunkt und der Ursprung des Bogens. Neben der Alatornio Kirche in Finnland ist diese Sternwarte eines von zwei Gebäuden, die für die Beobachtungen benutzt werden, und seit der Zeit der geodätischen Vermessungen von Struve erhalten geblieben sind. Die anderen beiden estnischen Messpunkte liegen beim Dorf Simuna im Kreis Lääne-Viru. In einem dieser beiden Punkte – Katko – befindet sich heute eine 1,2 m hohe Steinsäule. Der rote Punkt zeigt die Lage dieses Punktes in der Dreiecks-kette.

Interessant gestaltete kreisrunde Briefmarken in Form des Landesumfangs zeigen den finnischen Ausschnitt des Struve-Bogens mit 6 gekennzeichneten Messpunkten, die sich auf der UNESCO-Liste befinden. Die geographischen Koordinaten und Namen dieser Messpunkte werden im oberen Teil angegeben. Im unteren Teil befindet sich eine Abbildung (nach einer alten Fotografie aus der Sammlung des Museums in Pulkovo), die die Messung einer Basislinie für eine Dreiecks-kette mittels spezieller Messlatten zeigt

(Abbildung 35). Schweden erinnert 2011 an die Messung des Struve-Bogens und zeigt den Verlauf der Dreiecks-kette vom Nordkap zum Schwarzen Meer und das Porträt von Struve (nach einem Gemälde des dänischen Künstlers aus dem 18. Jh., Christian Albrecht Jensen). Außerdem ist ein Theodolit des schwedischen Astronomen Haquin Selander zu sehen, mit dem die Winkelmessungen in Tornedalen durchgeführt worden sind, sowie das Denkmal am nördlichsten Punkt des Struve-Bogens in der norwegischen Stadt Hammerfest. Eine Landschaft der Jupukka-Berge in der Pajala Municipality, Lappland, wo sich einer der vier schwedischen Messpunkte von der UNESCO-Liste befindet, ist auch abgebildet, eine Zeichnung der Dreiecks-kette und eine Liste der Messpunkte, beide aus

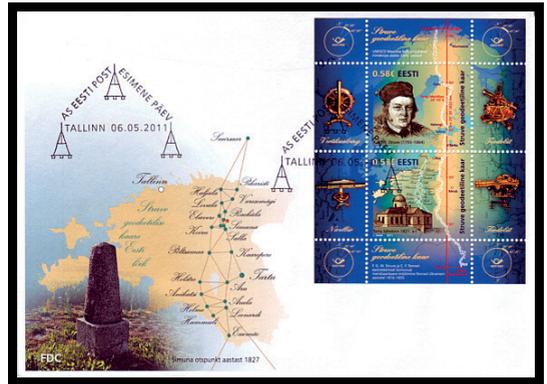


Abb. 33: Struve-Bogen – UNESCO-Weltkulturerbe (Estland 2011)



Abb. 34: 200 Jahre Sternwarte in Tartu (Estland 2010)



Abb. 35: Struve-Bogen – UNESCO-Weltkulturerbe (Finnland 2011)

dem Bericht Struves über die Vermessung „Arc du meridiens...“, veröffentlicht 1857-1860, sowie die Anfangsworte der Rede des Astronomen Daniel Georg Lindhagen über die Figur der Erde, die er 1862 an der Königlichen Schwedischen Wissenschaftsakademie gehalten hat (Abbildung 36).



Abb. 36: Struve-Bogen – UNESCO-Weltkulturerbe (Schweden 2011)

7. Mitteleuropäische Gradmessung

Im April 1861 legt Generalleutnant Baeyer¹⁴ dem Kriegsministerium eine Denkschrift „Entwicklung einer Mitteleuropäischen Gradmessung“ vor und bereits im Juni des gleichen Jahres befahl König Wilhelm I. von Preußen (ab 1871 Deutscher Kaiser Wilhelm I.) durch Kabinettsorder Baeyers Vorschlag zu realisieren. Dadurch sollte sein Plan „durch Verbindung der geodätischen Messungen in denjenigen Ländern, welche mit Deutschland zwischen gleichen Meridianen liegen, eine Mitteleuropäische Gradmessung herzustellen“ verwirklicht werden.

¹⁴ Johann Jacob Baeyer (*1794 in Müggelheim; †1885 in Berlin), preußischer Offizier, zuletzt Generalleutnant, Geodät, Begründer der europäischen Gradmessung.



Abb. 37: Johann Jacob Baeyer

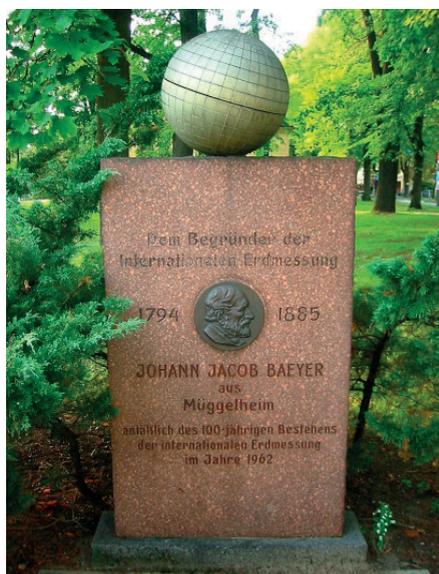


Abb. 38: Gedenkstein in Berlin-Müggelheim, Foto: Andreas Steinhoff



Abb. 39: Vermessungspunkt der Mitteleuropäischen Gradmessung 1864

Deutsche Landestriangulationen im 19. Jahrhundert			
Zeitraum	Land	Geodäten	Basislänge
1801-1852	Bayern	Johann Georg Soldner (1776-1833)	
1803	Thüringen	Franz Xaver von Zach (1754-1832)	5,88 km
1811-1813		Bernhard August von Lindenau (1779-1854)	
1809-1834	Hessen-Darmstadt	Christian Leonhard Philipp Eckhardt (1784-1866), Ludwig Johannes Schleiermacher (1785-1844)	
1810-1852	Baden	Johann Gottfried Tulla (1770-1828) u. W. F. Klose	
1818-1831	Württemberg	Johann Gottlieb F. Bohnenberger (1765-1831)	13,03 km
1821-1831	Kurhessen	Christian Ludwig Gerling (1788-1864)	
1828-1844	Hannover	Carl Friedrich Gauß (1777-1855)	ohne Basismessung
1835-1850	Oldenburg	A. Ph. Freiherr von Schrenck (1800-1877)	
1853-1860	Nassau	Friedrich Wagner	
1853-1860	Mecklenburg	Friedrich Paschen (1804-1873)	
1862-1890	Sachsen	August Nagel (1821-1903), Karl Christian Bruhns (1830-1881), Julius Weisbach (1806-1871)	8,91 km
1816-1818	Livland	Wilhelm Friedrich Georg Struve (1793-1864)	
1821-1831	Ostseeprovinzen Russlands		
1816-1820	Dänemark	Heinrich Christian Schumacher (1780-1850)	5,88 km
1820	Holland	Cornelis Rudolphus Theodorus Krayenhoff (1758-1840)	

Tab. 3: Deutsche Landestriangulationen im 19. Jahrhundert

Nach Ausscheiden aus dem preußischen Generalstab 1857 veröffentlicht Baeyer mehrere wissenschaftliche Arbeiten zur „Begründung der mitteleuropäischen Gradmessung“, die die Vermessung Mitteleuropas nach Längen- und Breitengraden und die Untersuchung lokaler Verhältnisse unter anderem des Schwerefeldes und der Erdkrümmung sowie die internationale Zusammenarbeit zum Ziel haben. Ende 1862 sind bereits Bayern, Baden, Hannover, Königreich Sachsen, Sachsen-Gotha, Mecklenburg, Belgien, Italien, Schweiz, Österreich, Schweden, Dänemark, Niederlande, Polen und Norwegen dem Unternehmen beigetreten. Damit ist der Grundstein für eine internationale Erdmessung gelegt, welche heute unter der

Schirmherrschaft der IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) steht und fast alle Staaten der Erde einschließt.

1829 gibt es auf Veranlassung des Generals Carl Friedrich von Tenner die Anordnung durch die preußische Regierung eine Gradmessung in Ostpreußen zur Verbindung von preußischen und russischen Dreiecksketten durchzuführen. Die preußische Regierung beauftragt den Direktor der Königsberger Sternwarte Friedrich Wilhelm Bessel unter Mitwirkung von Baeyer, diese Aufgabe auszuführen. 1831 bis 1834 erfolgen die Feldarbeiten. Die Erkundungen (Recognoscirungen) betreffen eine Dreieckskette mit 17 Stationen und Anschlüssen.

sen im Westen an die Linie Trunz – Wildenhof (Tennerische Vermessung) und im Osten an Memel – Lepaizi und Lepaizi – Algeberg (Struvesche Vermessung) und Anschluss an die Sternwarte Königsberg. Ferner wird eine Basislinie erkundet, die zwischen den Dörfern Mednicken und Trenk liegt. Ihre Messung erfolgt mit dem Bessel'schen Basisapparat (4 Messstangen mit 4 Toisen Länge, 1 Toise = 1,949 Meter) in 2 Absätzen je zweifach. Länge: 935 Toisen = 1.822,35 m, mittlerer Fehler einer Messung von 1 km Länge: $\pm 2,2$ mm. Die Basis dient über das gemessene Basisvergrößerungsnetz zur Ableitung der Hauptdreiecksseite Galtgarben – Condehnen. Die astronomischen Beobachtungen sind Polhöhenbestimmungen auf den Hauptpunkten Memel und Trunz sowie Bestimmung von Meridianrichtungen. Und die geodätischen Beobachtungen sind Winkelmessungen mit dem 15-zölligem Ertel'schem Theodolit (mit 8-zölligem Höhenkreis) nach Heliotropenlichtzeichen auf den 17 Stationen (1820 hat Carl Friedrich Gauß den Heliotropen erfunden). Die Auswertung nach der Methode der kleinsten Quadrate (von Gauß 1809 veröffentlicht) erfolgt mit 31 Unbekannten. Die Berechnung der Entfernungen der Dreieckspunkte wird mittels Logarithmen bewerkstelligt. Aus Zenitdistanzmessungen werden die Höhen über der Meeresoberfläche und die mittlere Größe der Strahlenbrechung (Refraktionskoeffizient $k=0,1370$) bestimmt. Die Resultate der geodätischen und astronomischen Arbeiten zur Gradmessung in Ostpreußen sind: Geodätische Bestimmungen zwischen Königsberg – Trunz, Königsberg – Memel und Trunz – Memel mit Entfernungen, Richtungen und Dreiecksseiten; astronomische Bestimmungen von Königsberg, Trunz und Memel mit Polhöhen und Azimuten. 1832-1836 erfolgt die Gradmessung in Ostpreußen durch F. W. Bessel und J. J. Baeyer und 1835 ein Nivellement zwischen Swinemünde und Berlin durch J. J. Baeyer.

Als Gradmessungskommission werden die geodätischen Spezialstudiengruppen bezeichnet, die ab 1863 auf Initiative Österreichs in mehreren Staaten Mitteleuropas gegründet werden, um der steigenden Bedeutung der wissenschaftlichen Erdmessung gerecht zu werden. Der Name leitet sich von den Methoden der Gradmessung ab, mit denen ab etwa 1800 die genaue Erdfigur und bestanschließende Ellipsoide für die im Aufschwung befindlichen Landesvermessungen bestimmt werden. Als erste derartige Kommission wird 1863 in Wien die Österreichische Grad-

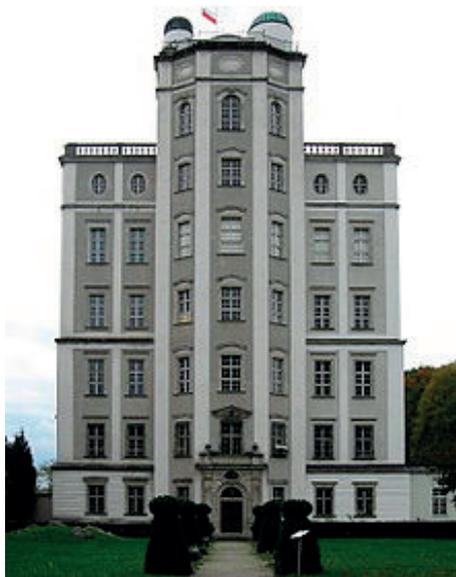


Abb. 40: Mathematischer Turm Stift Kremsmünster

messungskommission gegründet. Federführend sind das k.k. Militärgeographische Institut und Professoren der 1815 gegründeten Technischen Hochschule Wien. Um 1865 folgen die Mitteleuropäische Gradmessungskommission, in der vor allem Österreich und Deutschland unter Fligely und Baeyer ihre Forschungsprojekte für Höhere Geodäsie koordinieren, sowie um 1870 die Bayerische Gradmessungskommission. 1864 findet die 1. Konferenz der Mitteleuropäischen Gradmessung in Berlin statt. Aus der Mitteleuropäischen wird 1867 eine Europäische und später eine Internationale Gradmessung. Als Organ dieser Konferenz von 1864 wirkte ein Zentralbüro, das seinen Sitz bis 1916 im 1870 gegründeten Geodätischen Institut hatte. Ab 1870 entstehen auf Initiative von Friedrich Robert Helmert¹⁵ weitere Kommissionen in Preußen, in Württemberg und teilweise in den Rheinlanden.

Die Österreichische Gradmessungskommission erhält in der Zwischenkriegszeit den Namen Österreichische Kommission für die internationale Erdmessung (ÖKIE) und wird 1995 in Österreichische Geodätische Kommission (ÖGK) umbenannt, während die deutschen Kommissionen in der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK) bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zusammengefasst werden.

15) Friedrich Robert Helmert (*1843 in Freiberg, Sachsen; †1917 in Potsdam), deutscher Geodät und Mathematiker.



Abb. 41: Friedrich Wilhelm Bessel

8. 1880-1910 Meridianbogen Kremsmünster (Großenhain – Kremsmünster – Pola)

Der Meridianbogen ist von der preußischen Landesvermessung im Norden noch etwa 70 km fortgesetzt und teilweise als Berliner Meridian bezeichnet worden. Er verläuft von der böhmischen Grenze über Dresden bis nach Großenhain (Sachsen), wo der astronomische Endpunkt errichtet worden ist. Den südlichen Endpunkt bildet die österreichische Marine-Sternwarte Pola (Istrien), die später durch die Asteroidenentdeckungen von Johann Palisa international bekannt wurde. Kremsmünster bildet den Zentralpunkt des Meridianbogens. Der Meridianbogen Kremsmünster wird im späten 19. Jahrhundert als Zentralteil eines mitteleuropäischen Meridianbogens von Preußen bis zur Adria beobachtet bzw. aus älteren Messungen zusammengestellt. Eine Doppelkette von Triangulationspunkten (TP) der oberösterreichischen Landesvermessung und der benachbarten Kronländer führt über den Fundamentpunkt auf dem Gusterberg unweit des Benediktinerstiftes Kremsmünster. Die TP-Punkte werden so ausgewählt und rekognosziert, dass die aus ihnen gebildete Triangulationskette genau im Meridian von Kremsmünster verläuft ($31^{\circ} 48'$ östlich von Ferro oder $14^{\circ} 08'$ von Greenwich). Die Kette erstreckt sich über Oberösterreich hinaus noch jeweils 250 km nach Norden (Böhmen) sowie nach Süden (Steiermark und Krain) und bildet somit einen rund 660 km langen Bogen auf dem Staatsgebiet Österreich-Ungarns mit dem die mitteleuropäische Gradmessungskommission den genauen Verlauf der Erdkrümmung und ein astro-

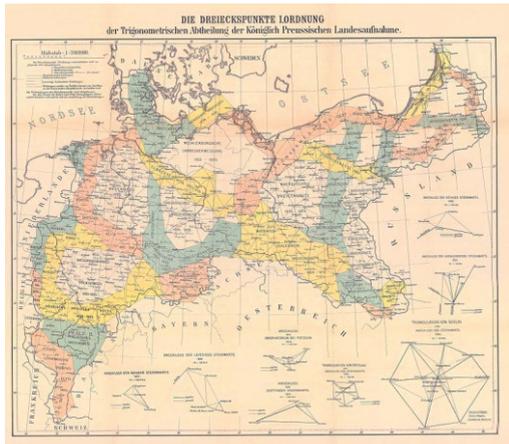


Abb. 42: Dreieckspunkte I. Ordnung der Trigonometrischen Abtheilung der Königlich Preussischen Landesaufnahme, 1895

geodätisches Geoidprofil berechnet. Dazu wird an einigen TP die genaue astronomische Breite aus Sterndurchgängen (Sterneck-Methode) und die Azimute einiger Netzseiten gemessen. Den astronomischen Zentralpunkt bildet die Sternwarte Kremsmünster („Mathematischer Turm“ des Stiftes), wo besonders genaue astronomische Koordinaten ermittelt und auch eine Längenbestimmung durchgeführt wird. An die Sternwarte ist ein geophysikalisches Observatorium und eine Wetterstation angeschlossen, die heute die längste klimatische Messreihe der Welt besitzt.

9. Zusammenfassung

Seit Anfang des 19. Jh. häufen sich mit der Zahl der Gradmessungen auch die darauf basierenden Ellipsoidberechnungen, auf die die einzelnen Länder ihre staatlichen Vermessungsnetze bezogen haben. Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846)¹⁶, deutscher Astronom, Mathematiker und Geodät, fasst 1840 alle wichtigen und ihm bekannten Ergebnisse der großräumigen Gradmessungen in Europa sowie in Indien zusammen und errechnet durch Ausgleichung die Dimensionen eines mittleren Erdellipsoides, das sich durch seine Lagerung dem Geoid und der mittleren Erdkrümmung in Europa und Asien besonders gut anpasst. Seine

¹⁶ Friedrich Wilhelm Bessel (*1784 in Minde; † 17. März 1846 in Königsberg i. Pr., deutscher Astronom, Mathematiker, Geodät und Physiker. Die von Bessel geplante und geleitete Ostpreussische Gradmessung wurde vorbildlich für nachfolgende Triangulationen in Deutschland. Es gelang ihm Werte für die Dimensionen des Erdellipsoides herzuleiten, die bis zum Ende des 20. Jahrhunderts den mitteleuropäischen Landesvermessungen zugrunde lagen (Bessel-Ellipsoid).

Gradmessung	Jahr	Beobachter bzw. Organisator	Δ	Stat.	Endpunkte	Mittlere	
						Breite	Länge
Frankreich—Spanien	1792–1798	Delambre–Méchain	9° 40'	6	Montjoux–Dünkirchen	46° 12' N	2° 20'
Frankreich—Spanien	1803–1804 1806–1808	Méchain Biot–Arago	12° 22'	7	Formentera–Dünkirchen	44° 51' N	2° 20'
1. indische	1802	Lambton	1° 35'	2	Tiruvendipuram–Paudree	12° 32' N	79° 47'
2. indische	1805–1811	Lambton	6° 56'	4	Punnae–Namthabad	11° 38' N	77° 40'
2. indische	1805–1818	Lambton	9° 54'	6	Punnae–Damargida	13° 06' N	77° 40'
2. indische	1805–1830	Lambton–Everest	15° 58'	7	Punnae–Kalianpur	16° 08' N	77° 40'
2. indische („Great Arc“)	1805–1842	Lambton–Everest	21° 21'	8	Punnae–Kaliana	18° 50' N	77° 40'
revidierte 1. indische	1843–1873	Waugh–Walker	16° 15'	30	Tiruvendipuram–Jarura	19° 52' N	80° 10'
revidierte 2. indische („Great Arc“)	1843–1873	Waugh–Walker	21° 21'	54	Punnae–Kaliana	18° 51' N	77° 40'
3. indische	1843–1873	Waugh–Walker	19° 09'	31	Mangalore–Shapur	22° 27' N	75°
1. indischer Parallel	1875	Walker	10° 29'	3	Bombay–Vizagapatam	18° N	78° 06'
2. indischer Parallel	1875	Walker	5° 24'	3	Mangalore–Madras	12° 58' N	77° 35'
3. indischer Parallel	1875–1892	Walker	24° 29'	6	? –Chittagong	23° 36' N	79° 28'
Livland	1821–1827	F. G. W. Struve	3° 35'	3	Jacobstadt–Hochland	58° 18' N	26° 40'
Baltikum	1816–1831	W. Struve–Tenner	8° 02'	6	Belin–Hochland	56° 04' N	26° 40'
Russisch-skandinavische	1816–1855	W. Struve–Tenner– Seelander–Hansteen	25° 20'	13	Staro Nekrassowka–Fuglense	58° 00' N	26° 40'
Dänemark	1817–1821	Schumacher	1° 32'	2	Lauenberg–Lyssabel	54° 08' N	10° 33'
Hannover	1821–1824	C. F. Gauß	2° 01'	2	Göttingen–Altona	52° 32' N	9° 56'
Ostpreußen	1831–1836	Bessel–Baeyer	1° 30'	3	Trunz–Memel	54° 58' N	20° 30'
Russischer Parallel in 52° Breite	1827–1872	Forsch–Oberg–Zylinski	39° 24'	10	Czenstochau–Orsk	52° N	38° 52'
Europäischer Parallel in 52° Breite			68° 55'	28	Feaghmain–Orsk	52° N	24° 06'
Russischer Parallel in 47,5° Breite	1848–1856	Wroschenko	19° 12'	6	Kiszeniew–Astrachan	47° 30' N	38° 24'
Europäischer Parallel in 48° Breite	1848–1906		52° 45'		Brest–Astrachan	48° N	21° 38'

Tab. 4: Statistische Angaben über die Gradmessung bis 1900 (Auszug) aus Georg Straßer, *Ellipsoidische Parameter der Erdfigur*, München 1957

Ergebnisse veröffentlicht Bessel 1841. Das Bessel-Ellipsoid beruht auf 10 langen Meridianbögen und 38 präzisen Messungen geographischer Breite und Länge. Die Dimensionen des Ellipsoids werden von Bessel durch die beiden Halbachsen a und b sowie die Abplattungsformel $f = (a-b)/a = 1/299,15$ definiert. Das Bessel-Ellipsoid wird die Grundlage der Landesvermessungen vieler Länder in Europa und Übersee. Um 1950 basieren auf ihm die Hälfte der Triangulationen in Europa und etwa 20% auf anderen Kontinenten. Bis heute dient das Ellipsoid als Basis der Landesvermessung in Deutschland und Österreich, aber auch z.B. in Indonesien, Japan oder Namibia. Mit dem Einsatz der satellitengeodätischen Messverfahren (GPS, GLONASS, Galileo) verliert das Bessel-Ellipsoid an Bedeutung zugunsten des globalen Referenzellipsoides WGS84 ($f = 1/298,26$), das die Grundlage des GNSS-Referenzsystems bildet.

1967 wird das 100-Jahr-Jubiläum der „Europäischen Gradmessung“, der Nachfolgeorganisation der 1862 auf deutsch-österreichische Initiative gegründeten „Mitteleuropäischen Gradmessungs-Kommission“ gefeiert. Ihre Aufgabe ist die internationale Koordinierung von verschiedenen Grad- und Erdmessungsprojekten. Die „Europäische Gradmessung“ stellt den Vorläufer der globalen geodätischen Union IAG und der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) dar.

Referenzen

Baeyer, Johann Jacob, Entwurf zu einer Mitteleuropäischen Gradmessung, Berlin 1861

Baeyer, Johann Jacob, Über die Größe und Figur der Erde, Eine Denkschrift zur Begründung einer mittel-europäischen Gradmessung nebst einer Uebersichtskarte, Berlin, 1861

Bouguer Pierre, La Condamine Charles-Marie, La figure de la terre, Paris 1749

Daumas Maurice, Arago, 1786–1853, Paris 1987

Delambre, Jean-Baptiste Joseph, Méthodes Analytiques pour la Détermination d'un Arc du Méridien, précédées d'un mémoire sur le même sujet par A. M. Legendre, Paris 1799, S 72–73

Euler Leonhard, Von der Gestalt der Erden, St. Petersburg 1738

Gauß Johann Carl Friedrich, Untersuchungen über Gegenstände der höhern Geodäsie, Erste Abhandlung, Göttingen 1845, Zweite Abhandlung, Göttingen 1847

Generalbericht über die Mitteleuropäische Gradmessung, München 1867

Geodäsie in der Philatelie, http://www.wydera.de/vermessung/kap_01_04_01_gradmess.html

Helmert, Friedrich Robert, Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie. Einleitung und 1 Teil, Leipzig 1880, S 46–48

Hiermaseder Michael, „Von der Gestalt der Erden“, Gradmessungen im 18. Jahrhundert, VGI 4/2022, S 213–233

Höpfner Joachim, Johann Jacob Baeyer, ein hervorragender Geodät des 19. Jh., Tagung zu Fragen der wissenschaftlichen Geodäsie der „Mitteleuropäischen Gradmessung“ vor 150 Jahren, Berlin, 2012

Maupertuis Pierre-Louis Moreau de, Discours sur les différentes figures des astres, avec une Exposition abrégée des systèmes de M. Descartes et de M. Newton, Paris 1732

Maupertuis, Pierre-Louis Moreau de, La figure de la terre, Paris 1738

Roy Rama Deb, The Great Trigonometrical Survey of India in a Historical Perspective. In: Indian Journal of History of Science. 21(1), 1986

Schumann Richard/Hopfner Friedrich, Der Meridianbogen Großenhain-Kremsmünster-Pola. Astronomische Arbeiten des Österreichischen Gradmessungsbüros, Band I der ÖKIE, Wien 1922

Straßer Georg, Ellipsoidische Parameter der Erdfigur, München 1957

Struve Friedrich Georg Wilhelm, Vorläufiger Bericht von der Russischen Gradmessung, 1821 bis 1827 in den Ostseeprovinzen des Reichs, Dorpat 1827

Struve Friedrich Georg Wilhelm, Beschreibung der Breitengradmessung in den Ostseeprovinzen 1821 bis 1831, Erster Theil, Einleitung und Berechnung, Zweiter Theil, Tagebuch, Dorpat 1831

UNESCO World Heritage Center, Struve Geodetic Arc, CC-BY-SA IGO 3.0, Paris 2005

Anschrift des Autors

Dr. Michael Hiermaseder, Managing Director, Leica Geosystems Austria GmbH (ret.); Partner, Rudolf & August Rost (ret.), Sommerergasse 11/5, A-1130 Wien.

E-Mail: hiermaseder@gmx.net