

„Von der Gestalt der Erden“ Gradmessungen im 18. Jahrhundert



“On the shape of the Earth” Measurements of latitude in the 18th century

Michael Hiermanseder, Wien

„Hieraus entstand nun die Frage, ob die Erde einer vollkommen runden Kugel gänzlich ähnlich wäre, oder dieser Figur nur ziemlich nahe beykäme?“¹

Kurzfassung

Der Beitrag zeigt, anhand von Beispielen aus dem 18. Jahrhundert in verschiedenen Erdteilen, Bedeutung und Ergebnisse von Gradmessungen zur Bestimmung von Größe und Gestalt der Erde, die einen erbitterten Streit unter führenden Wissenschaftlern beenden und zu wichtigen Fortschritten in der Geodäsie führen.

Schlüsselwörter: Gradmessung, Geschichte, Geodäsie, Astronomie

Abstract

The article shows, using examples of different continents from the 18th century, significance and results of measurements of latitude for the determination of size and shape of the earth, which end a bitter dispute among leading scientists and lead to important progress in geodesy.

Keywords: Measurement of latitude, history, geodesy, astronomy

1. Problemstellung

Als Gradmessung bezeichnet man die astronomisch-geodätische Methode, die seit dem 16. Jahrhundert zur Vermessung der Größe und Gestalt der Erde (des Erdellipsoids) verwendet wird. Der Name kommt von der genauen Bestimmung der Distanz (110,6–111,7 km), die zwischen zwei um 1° verschiedenen Breitengraden liegt. Die Methode beruht auf der Messung der Erdkrümmung zwischen weit entfernten Punkten, indem deren Distanz mit dem Winkel zwischen ihren astronomisch bestimmten Lotrichtungen verglichen wird. Der Quotient ergibt den mittleren Krümmungsradius der Erde zwischen diesen Punkten. Wählt man die zwei Standorte der Lotrichtungsmessung in Nord-Süd-Richtung, entspricht der Winkel der Differenz ihrer geographischen Breite.

Das Prinzip der Gradmessung geht auf den griechischen Mathematiker Eratosthenes zurück, der den Erdumfang um 240 v. Chr. aus dem um 7,2° unterschiedlichen Sonnenstand zwischen Alexandria und Syene (Assuan) mit 250.000 Stadien auf etwa 10 Prozent genau schätzt.

In Frankreich ermittelt Jean François Fernel (1497-1558) 1525 aus einem Meridianbogen nördlich von Paris den mittleren Erdradius (ca. 6.370 km) bereits auf einige Kilometer genau, wobei er die Entfernung durch die Radumdrehungen seiner Kutsche ermittelt. Der Holländer Willebrord van Roijen Snell (Snellius) berechnet 1615 die Distanzen erstmals durch Triangulation großer Dreiecke.

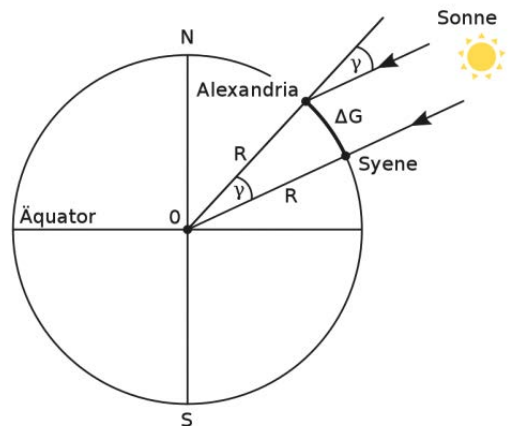


Abb. 1: Erdmessung des Eratosthenes, 240 v. Chr.

1) Euler Leonhard, Von der Gestalt der Erden, 1738

Zweifel an der bisher angenommenen Kugelgestalt der Erde tauchen auf als Isaac Newton (1643-1727) 1670 das Gravitationsgesetz findet. Jean Picard bestimmt 1670 den Meridianbogen Paris – Amiens durch Triangulation mit Quadranten, die Messfernrohre mit Fadenkreuzokularen zum Anvisieren des Gestirns haben. Damit wird eine bis dahin nicht mögliche Präzision erreicht. Die Verlängerungen dieses Meridianbogens bis nach Dünkirchen und Perpignan Anfang des 18. Jahrhunderts lassen

auf eine örtlich variierende Erdkrümmung schließen, also auf Abweichungen von der Kugelform.

Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), Astronom und erster Direktor der Pariser Sternwarte, und sein Sohn, Jacques Cassini (1677-1756), stellen bei ihren Vermessungen und Berechnungen fest, dass die Erde an den Polen langgestreckt sein müsse (ein Oblongum). Dagegen sind die Astronomen um Isaac Newton überzeugt, dass die Erde an den Polen abgeplattet sei. Die Streitfrage, ob die Erdkrümmung zum Pol ab- oder zunimmt und die Erde polwärts abgeplattet oder tropfenförmig ist, wird erst durch die französischen Erdmessungen in Lappland und Peru 1735-1740 geklärt.²

2. 1735-1740 Französische Gradmessungsexpeditionen

Um die bereits vermutete Abplattung der Erde genau zu bestimmen und den wissenschaftlichen Streit darüber zu beenden, rüstet die Pariser Königliche Akademie der Wissenschaften zwei große Expeditionen nach Peru und nach Lappland aus, die 1735-1740 genaue Vermessungen von zwei Meridianbögen durchführen. Man wählt diese weit voneinander entfernten Gebiete, weil sich dort die Resultate am deutlichsten voneinander unterscheiden müssten.



Abb. 2: Schiffe auf dem vereisten Bottnischen Meerbusen, um 1830

2.1 Lappland

Die Expedition nach Lappland zum Polarkreis 1736-1737 leitet der Astronom Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), Mitglied der französischen Akademie. Teilnehmer sind Alexis-Claude Clairaut (1713-1765) und Anders Celsius (1701-1744). Die Vermessungen müssen unter schwierigen Bedingungen in unzugänglichen Polarregionen mit ausgedehnten Wäldern und Sümpfen durchgeführt werden.



Abb. 3: Teilweise zugefrorener Bottnischer Meerbusen, Satellitenbild (2002)

2) <https://de.wikipedia.org/wiki/Gradmessung>

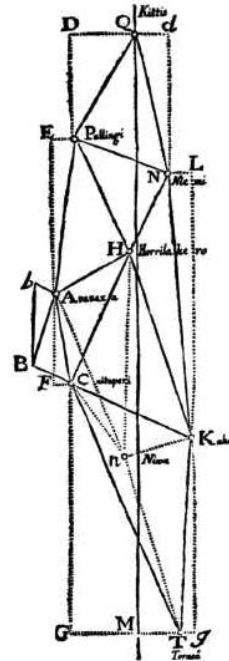


Abb. 4: Maupertuis, Französische Erdmessung in Lappland 1736/1737

Maupertuis stellt 1735 sein Projekt der französischen Akademie vor und argumentiert, eine Expedition zum Polarkreis sei kürzer, weniger mühsam und nicht so gefährlich und könne daher die Frage der Erdgestalt schneller klären als die Gradmessung in Peru. Zu dem Zeitpunkt ist noch offen, ob die Messungen in Island, im Norden Norwegens oder am lappländischen Bottnischen Meerbusen, der damals zu Schweden gehört, stattfinden sollen. Vermutlich ist der schwedische Astronom Anders Celsius ausschlaggebend dafür, dass Maupertuis sich schließlich für Lappland entscheidet. Maupertuis lernt Celsius in Paris durch seinen Freund Francesco Algarotti (1712-1764) kennen, dessen populäre Schrift zur Physik Newtons, „Welt-Wissenschaft für das Frauenzimmer“, in ganz Europa beliebt ist. Im August 1735 ordnet König Ludwig XV. die Expedition an.

Der Marineminister Jean Frédéric Phélypeaux Graf von Maurepas (1701-1781) ist ein Gönner von Maupertuis. Trotz des polnischen Erbfolgekriegs beginnen die Vorbereitungen der Expedition. Der Kriegszustand mit Österreich besteht bereits seit Oktober 1733. Die Expeditionen nach Peru und Lappland sind der französischen Krone aber wichtig genug, um sie trotz des Feldzuges

zu finanzieren. Maurepas kümmert sich um die außenpolitischen Angelegenheiten mit Schweden. Maupertuis und Clairaut lassen sich von Jacques Cassini in die Methoden der Beobachtungen einführen. Neben Clairaut überzeugt Maupertuis die Mathematiker und Akademiemitglieder Etienne Camus (1699-1768) und Pierre Charles Le Monnier (1715-1799), ihn nach Lappland zu begleiten. Dazu kommen noch Réginald Outhier (1694-1774) und Anders Celsius, der die Fertigstellung eines für die Expedition sehr wichtigen Apparates in London veranlasst: den Graham-Sektor, ein Fernrohr vom englischen Instrumentenmacher George Graham (1673-1751), das Maupertuis später als ein kleines Weltwunder rühmt.

Die Messung eines Grad des Meridians besteht aus mehreren Etappen. Zuerst erfolgt die Errichtung sichtbarer Signale auf Erhebungen. Der Kirchturm von Torneå dient als Ausgangspunkt, 7 weitere Vermessungspunkte werden wie kegelförmige Zelte aus großen Baumstämmen auf umliegenden Bergen aufgestellt. Miteinander verbunden ergeben diese acht Punkte sieben Dreiecke deren Winkel mittels eines Quadranten gemessen werden. Um aus trigonometrischen Berechnungen die Distanz zwischen dem nördlichsten und



Abb. 5: Maupertuis, Bau eines Signals bei Niemi

dem südlichsten Punkt zu ermitteln, benötigt man die Länge einer der Dreiecksseiten. Zu diesem Zweck wird auf dem zugefrorenen Fluss Torneå mit Holzplatten eine 16 km lange Strecke als Basis für die Rechnungen gemessen, die mit einem 1 Toise langen, eisernen Messstab kontrolliert werden. Dieser zwischen Poiky-Torneå und Niemisby gemessene Abschnitt wird dann durch zwei weitere Dreiecke mit den sieben übrigen verbunden.

Die Inseln des Bottnischen Meerbusens, auf denen Maupertuis zunächst die Vermessungen durchführen will, sind zu flach und oft auch zu klein und daher ungeeignet. Der ursprüngliche Plan hat den Vorteil, die Beobachtungsinstrumente per Schiff leicht von einer Insel zur anderen transportieren zu können. Stattdessen müssen die Operationen nun an Land stattfinden, wo sie von Sümpfen, Stromschnellen, dichten Wäldern und steilen Bergen deutlich erschwert werden. Maupertuis erkennt, dass der Fluss Torneå, in dessen Mündung die Stadt desselben Namens liegt, mehr oder weniger der Meridianlinie folgt. Dort entlang werden die Signale gebaut, die für die trigonometrischen Messungen nötig sind. Zwischen dem Kirchturm von Torneå südlich und dem Berg Kittis nördlich des Polarkreises legt man das Dreiecksnetz an. Die schweren und fragilen Instrumente müssen auf dem Fluss sicher durch die zahlreichen Katarakte und durch mückenverseuchten Sümpfe transportiert werden. Ganze Berge werden abgeholzt, damit die Signale auf weite Entfernung sichtbar sind. Die Reisenden schlafen unter freiem Himmel auf improvisierten Laubbetten oder in schnell aufgebauten Unterküften aus Baumstämmen, Ästen und Moos. Der Himmel ist oft bedeckt, das Wetter neblig oder regnerisch und manchmal muss tagelang auf gute Beobachtungsbedingungen gewartet werden. Ein zu hastig ausgelöschtes Lagerfeuer entfacht ei-

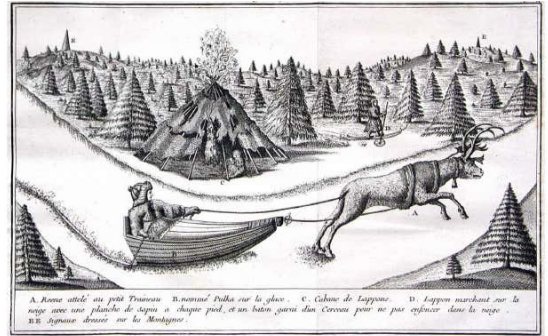


Abb. 6: Pulkafahrt am zugefrorenen Fluss

nen Waldbrand, der ein Signal beschädigt und die Sicht der Beobachter durch eine Rauchwand versperrt.

Die letzten Etappen sind astronomische Beobachtungen, für die ein Zenitsektor verwendet wird.

Der von Celsius in England bestellte und von den Teilnehmern sehnsüchtig erwartete Graham-Sektor trifft im August endlich in Torneå ein. Die

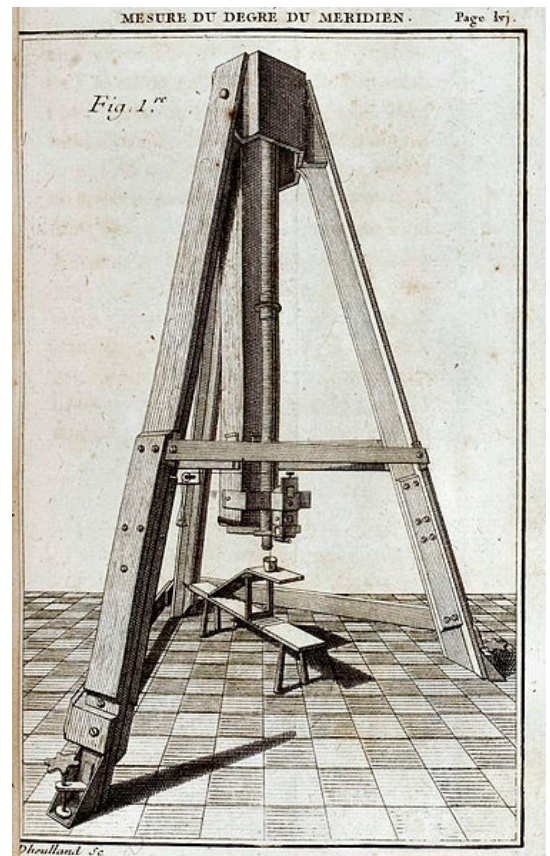


Abb. 7: Graham-Sektor (1735)



Abb. 8: Maupertuis, *Discours sur la Mesure du Degré du Meridien*

Messung der Basis wird auf den Winter verschoben, weil man sie auf dem vereisten Fluss anlegen will, der eine optimale Oberfläche liefert. In Kittis bauen sie ein Observatorium, um die astronomischen Beobachtungen durchführen zu können. Es handelt sich darum, am südlichsten und nördlichsten Ort der Vermessungen einen Fixstern anzuvisieren und den Winkel zwischen der Beobachtungsgeraden und der Senkrechten zur Erdoberfläche zu bestimmen. Aus den erhaltenen Winkelmaßen kann man den Winkel berechnen, in welchem sich die beiden Vermessungspunkte zum Erdmittelpunkt befinden. Die Operation ist einfach, erfordert jedoch eine große Genauigkeit und die Berücksichtigung von Störfaktoren, wie der von James Bradley (1693-1762) entdeckten magnetischen Aberration, der atmosphärischen Refraktion und der Präzession der Tag- und Nachtgleichen. Die Position der Dreiecke zum Meridian wird in Kittis durch Beobachtungen der Sonnenpassage festgelegt.

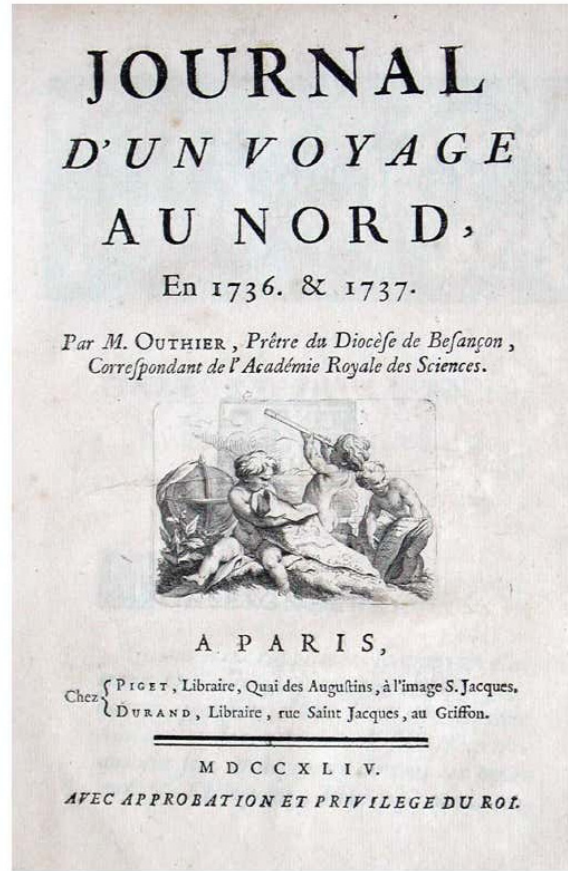


Abb. 9: Outhier, *Journal d'un Voyage au Nord*

Nach Abschluss der Messungen sind die Mathematiker in der Lage, den Abstand der Breitengrade entlang des Meridianbogens zwischen Kittis und Torneå zu bestimmen. Dieser beträgt $55.023\frac{1}{2}$ Toisen bei einem Winkel von $57^{\circ} 28\frac{3}{4}''$. Somit entspricht der Abstand eines Breitengrades 57.437 Toisen, also 377 Toisen mehr als der von Picard in Frankreich gemessene. Maupertuis schlussfolgert: „D'où l'on voit que la Terre est considérablement aplatie vers les pôles.“ Während Celsius sich in seinem Expeditionsbericht eher auf die naturwissenschaftlichen Ergebnisse der Expedition beschränkt, haben uns Maupertuis und Outhier detaillierte Reisebeschreibungen hinterlassen.

2.2 Peru

Die Expedition nach Peru, geführt von Louis Godin (1704-1760), verlässt Frankreich bereits Mitte 1735, die Teilnehmer kehren jedoch erst ab 1744, einzeln und untereinander zerstritten, in die Heimat

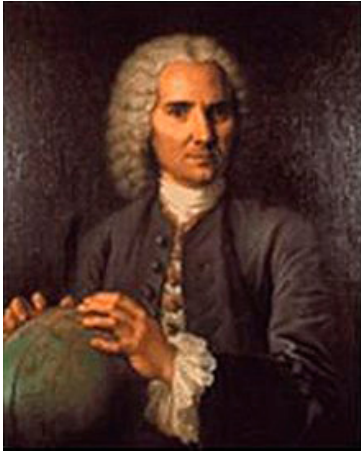


Abb. 10: L. Godin



Abb. 11: P. Bouguer
(Portrait: Perronneau)



Abb. 12: Ch.-M. de la Condamine 1753
(Portrait: De la Tour)

zurück. Unter den 22 Mitgliedern sind die Astronomen, Mathematiker und Geodäten Pierre Bouguer (1698-1758) und Charles-Marie de La Condamine (1701-1774). Alle Genannten sind Mitglieder der französischen Akademie der Wissenschaften. Die spanische Krone befiehlt zur Begleitung der Expedition in ihr Hoheitsgebiet zwei junge spanische Offiziere, den späteren Astronomen Jorge Juan y Santacilia (1713-1773) sowie den späteren Gelehrten und General Antonio de Ulloa y Torre-Guiral (1716-1795). Eine enge Zusammenarbeit gibt es mit dem ecuadorianischen Kartographen Pedro Vicente Maldonado (1704-1748), Statthalter der Provinz Las Esmeraldas.

Die Expedition gehört zu den größten Abenteuern der Wissenschaftsgeschichte. Das Messgebiet liegt fast vollständig südlich des Äquators in einem Teil von Peru, der damals spanische Kolonie ist und heute zu Ecuador gehört. Raubtiere, Unfälle, Feindseligkeiten mit den Einwohnern und tödliche Krankheiten dezimieren die Gruppe der Forscher, gegenseitige Eifersucht entzweit die Expeditionsteilnehmer, ständige Geldprobleme hemmen den Fortschritt der Vermessung. Nach der monatelangen, von langen Wartezeiten in Santo Domingo, Cartagena de Indias, Panama und Guayaquil unterbrochenen, beschwerlichen Reise erreicht die Expedition Quito. Dort müssen sie



Abb. 13: Triangulation in Ulloa, Juan: „medir algunos grados de meridiano terrestre, y venir por ellos en conocimiento de la verdadera figura, y magnitud de la tierra“

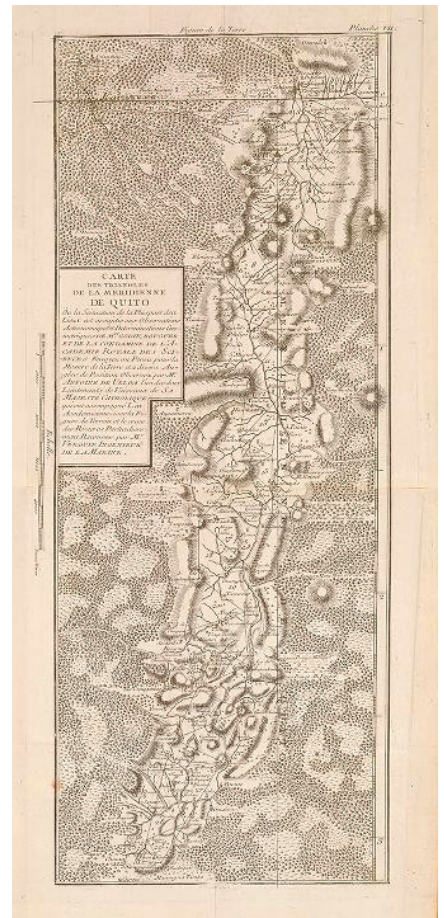
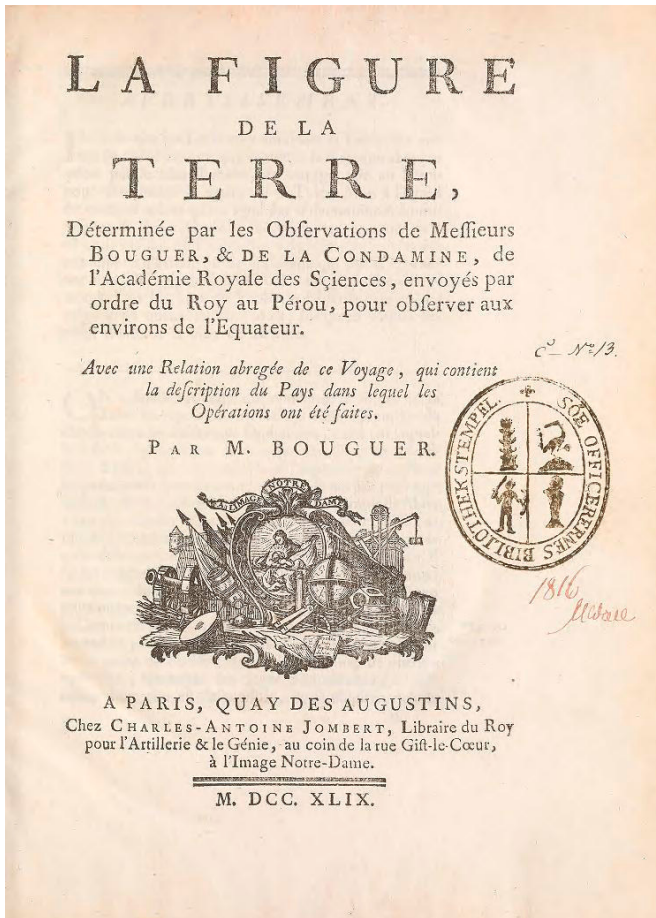


Abb. 14: Bouguer, La Condamine, La figure de la terre, <https://www.biodiversitylibrary.org/page/59023248>

zunächst Karten der breiten Hochebene zwischen den beiden bis über 6.000 m hohen Bergketten der Anden anfertigen und auf den Gipfeln weithin sichtbare Punkte identifizieren, die die Ecken der Dreiecke bilden sollen. Das Triangulationsnetz aus 30 Dreiecken erstreckt sich von Cotchesqui nördlich von Quito über 3 Grad geographischer Breite bis Tarqui im Süden. Mit großen Quadranten wer-

den alle Winkel in den Dreiecken bestimmt. Astronomische Zenitdistanzmessungen zu den Sternen erfolgen mit Zenitsektoren. Die Triangulationen werden erstmals unter Anwendung sphärischer Trigonometrie berechnet.

Die 12 km lange Basis nördlich von Quito wird mit Holzplatten gemessen. Im Süden des Netzes gibt es weitere Kontrollbasislinien.

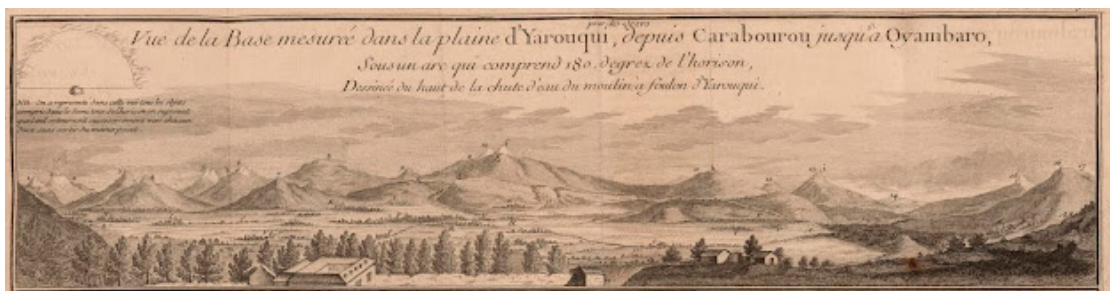


Abb. 15: Basislinie von Yaruquí mit dem Pichincha, BrownLibrary, <https://jcb.lunaimaging.com/luna/servlet/s/hg8he9>



Abb. 16: Quadrant, Pendeluhr, Karte aus Charles-Marie de La Condamine, *Journal du voyage fait à l'Equateur*; Gedenkstein in Punta Palmar

Bouguer führt während der zahlreichen Unterbrechungen der Triangulierung Experimente mit seinen Instrumenten auf dem Pichincha und in Quito durch, um die Wirkung der Geländehöhe auf die Schwerkraft und Newtons Gesetz der Massenanziehung durch Messung von Lotabweichungen zu überprüfen. La Condamine benützt einen Quadranten, eine astronomische Uhr und ein tragbares Pendel und berichtet seine Erkenntnisse über die Schwerkraft 1738 nach Paris.

1736 erreicht ein Paket, das ein Jahr von Europa nach Quito unterwegs gewesen ist, mit einem Brief von Maupertuis, in dem er von seiner für 1735 geplanten Gradmessung in Lappland schreibt, die Expedition. Trotz aller Mühen, die man in Amerika auf sich genommen hat, könnten ihre Ergebnisse somit von Maupertuis bereits überflüssig gemacht worden sein. Godin überlegt sogar, anstelle der Breitengradmessung eine Längengradbestimmung zwischen Quito und der Küste durchzuführen, was aber wegen der schwierigen



Abb. 17: Ulloa, Juan, *Relacion historica del viage a la America Meridional: hecho de orden de S. Mag. para medir algunos grados de meridiano terrestre, y venir por ellos en conocimiento de la verdadera figura, y magnitud de la tierra, con otras varias observaciones astronomicas, y phisicas*, 1748, <https://www.biodiversitylibrary.org/item/263122#page/11/mode/1up>

Topographie verworfen wird. Godin, Bouguer und Juan legen ihr Hauptinteresse auf die geodätischen Berechnungen, La Condamine und Ulloa erzählen Geschichten von Entdeckungen an der erforschten Küste und dem Landesinneren. Die Geodätische Expedition an den Äquator wendet innovative Ideen internationaler Wissenschaftler zur Problemlösung in Astronomie, Vermessung und Kartographie an.

Die Peru-Expedition bestätigt die Theorie der Abplattung der Erde an den Polen. Die Ergebnisse aller Messungen (1735–1740) ergeben eine Erdabplattung von $f = 0,0046$ (heutiger Wert: 0,00335), womit die Verkürzung des Erdradius zu den Polen ($6.378 \Rightarrow 6.357$ km) bzw. der wachsende Krümmungsradius ($6.335 \Rightarrow 6.400$ km) erstmals nachgewiesen wird:

Land	Beobachter	geogr. Breite	G (Bogen/Grad)	Krümmungsradius
Ecuador	Bouguer et al.	$-01^{\circ} 31'$	56.734 Toisen	6.335,5 km
Frankreich	Jean Picard	$+49^{\circ} 13'$	57.060 Toisen	6.371,9 km
Lappland	Maupertuis	$+66^{\circ} 20'$	57.438 Toisen	6.414 km

Abb. 18: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gradmessung>

À Monsieur
Monsieur Leonhard Euler
Conseiller et Mathématicien
de S: M: le Roy de Prusse
à Berlin

à Vienne ce 12:me de Nov:e 1749

Monsieur

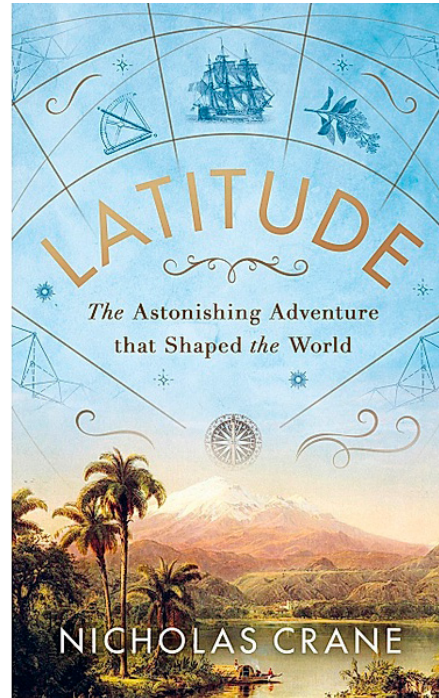
J'ay differé de Vous envoyer la presente, croyant de la pouvoir joindre a la Dissertation de M:r Clairaut, qu'on avoit achetée à Venise pour Vous, et pour moy. Maintenant je viens d'entendre, qu'on attendait de Verone le livre du Marquis Maffei Musaeum Veronense pour 13 associés d'icy, et qu'on vouloit les expedier ensemble dans une seule caisse. Je sollicite, qu'on ne nous fasse esperer plus longue temp, et quand je l'auray, je Vous l'enverray d'abord par le canal de Mons:r le Comte de Podewils. Vous aurez sans doute Monsieur apprise l'edition, qu'on a faite à Madrid des 4 tomes en 4to composés par Don Antonio d'Ulloa Relacion historica del viage hecho de orden de S.May. a la America Meridional, et d'un autre de Don Georgio Juan Observaciones Astronomicas y physicas hechas de orden de S.Mag. en los Reynos del Peru. Si ces livres ne sont pas arrivés chez Vous comme n'a plus icy, voyez icy l'inscription, qu'on m'a communique de Bologne.

Wien, 12. November 1749

Sehr geehrter Herr

Ich habe es verschoben, Ihnen den vorliegenden Brief zu senden, weil ich glaubte, ihn dem Aufsatz von Herrn Clairaut⁶⁷ beilegen zu können, den man in Venedig für Sie gekauft hat, und für mich. Momentan habe ich gehört, dass man in Verona auf das Buch des Marquis Maffei Musaeum Veronense für 13 Anteilsinhaber von hier wartet, und dass man diese Bücher gemeinsam in einer einzigen Kiste versenden wolle. Ich erbitte, dass man uns nicht länger warten lasse, und sobald ich ihn habe, werde ich ihn Ihnen zuerst durch den Kanal des Herrn Grafen Podewils⁶⁸ senden. Sie haben zweifellos, mein Herr, von der Edition erfahren, die man in Madrid in 4 Bänden in Quarto herausgegeben hat, zusammengestellt von Don Antonio d'Ulloa Relacion historica del viage hecho de orden de S.May. a la America Meridional⁶⁹ und von einem anderen von Don Georgio Juan Observaciones Astronomicas y physicas hechas de orden de S.Mag. en los Reynos del Peru⁷⁰. Wenn diese Bücher bei Ihnen nicht angekommen sind, so wie auch hier nicht, sehen Sie hier die Anmeldung, die man mir von Bologna mitgeteilt hat.

Abb. 19: Brief von Marinoni an Euler 1749

Abb. 20: Whitaker, *The Mapmaker's Wife*Abb. 21: Crane, *Latitude*

Über die Hauptaufgabe der Gradmessung hinaus umfassen die Arbeiten der Expeditionsteilnehmer zahlreiche andere Beobachtungen, Lage- und Höhenbestimmungen, Messungen des Magnetfeldes, des Luftdrucks, der Temperatur und Strahlenbrechung sowie Pendelmessungen, aber auch die Sammlung von Pflanzen und geographische, geologische und ethnologische Studien.

In neueren Romanen werden die unvorstellbaren Entbehrungen und Abenteuer der großen Geodätischen Südamerikaexpedition in den

Blickpunkt gerückt, so von Robert Whitaker, *The Mapmaker's Wife*, 2005, und von Nicholas Crane, *Latitude*, 2021.

Zum 200. Jahrestag der Ankunft der Gradmessungsexpedition errichtet Ecuador 1936 direkt auf dem Äquator in San Antonio de Pichincha (20 km nördlich der Hauptstadt Quito) ein Denkmal in Form einer 10 m hohen Pyramide. Dort hat La Condamine 1736 als erster Europäer die genaue Position des Äquators bestimmt (Geographische Breite $0^{\circ} 0' 0''$). Etwa 40 Jahre später wird an der



Abb. 22: Denkmal der Gradmessungsexpedition in San Antonio de Pichincha



Abb. 23: Rudjer Josip Bošković, 1760 (Portrait: Pine)

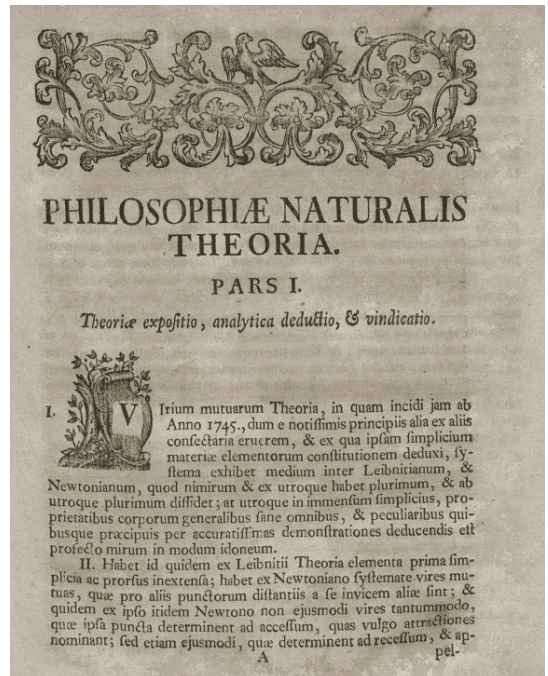


Abb. 24: Bošković, *Philosophiae naturalis theoria*, 1758

Stelle, die man nun „Ciudad Mitad del Mundo“ nennt, ein größeres Monument in gleicher Form inmitten eines Parks gebaut. Neue GPS Messungen haben allerdings ergeben, dass das Monument nicht exakt auf dem Äquator steht, sondern 240 m südlich davon.

3. 1750-1755 – Gradmessung Rom – Rimini

Die Gradmessungen von Lapland und Peru haben die Frage nach der Figur der Erde geklärt, es ergeben sich aber erhebliche Unterschiede in den Werten der Abplattung. Der kroatische Mathematiker, Astronom, Geodät, Kartograph, Physiker und Philosoph, P. Rudjer Josip Bošković SJ (1711-1787) setzt sich deshalb für die Durchführung neuer Gradmessungen möglichst in ebenen Gebieten ein, um den Einfluss der Anziehung der Gebirgsmassen auf die Messergebnisse gering zu halten.

Auf Anordnung von Papst Benedikt XIV. führt Bošković, Professor für Mathematik am Collegium Romanum zu Rom, in den Jahren 1750-1755 zusammen mit P. Christoph Maire (1697-1767) eine Gradmessung im Kirchenstaat durch. Insgesamt wird ein 2°10' langer Bogen zwischen Rom und Rimini gemessen. Bošković bestimmt zwei etwa 13 km lange Grundlinien. Für die Winkelmessung

wird ein Quadrant, für die Beobachtung der Polhöhen in den Endpunkten ein Sektor verwendet. Zur Berechnung der Ergebnisse kommt erstmals die Ausgleichung zur Anwendung. Die Messungen liefern sehr genaue Ergebnisse, sodass bereits vor dem Abschluss der Peru-Expedition die These über die Abplattung der Erde an den Polen bewiesen wird.

Während die älteren Berechnungen noch über zwei verschiedene Meridianbögen oder zwei aufeinanderfolgende Bogenstücke erfolgen, entwickelt Bošković für die Gradmessung von 1750 bis 1753 eine Rechenmethode zur Ausgleichung der auftretenden kleinen Widersprüche, indem er über fünf verschiedene Bögen durch Überbestimmung die Absolutsumme minimiert. Bei Carl Friedrich Gauß (1777-1855) finden sich Notizen über Bošković' Arbeiten zur „Bahnbestimmung der Himmelskörper“ und zur Lotabweichung, die später für Asteroiden wie Ceres und für die Hannover'sche Landesvermessung nützlich sind.

Bošković initiiert außerdem die Gradmessungen von Giambatista Beccaria in Piemont (1760/64), von P. Joseph Liesganig in Österreich (1761/65) und von Charles Mason und Jeremiah Dixon in Nordamerika (1764/68).



Abb. 25: Giovanni Battista Beccaria

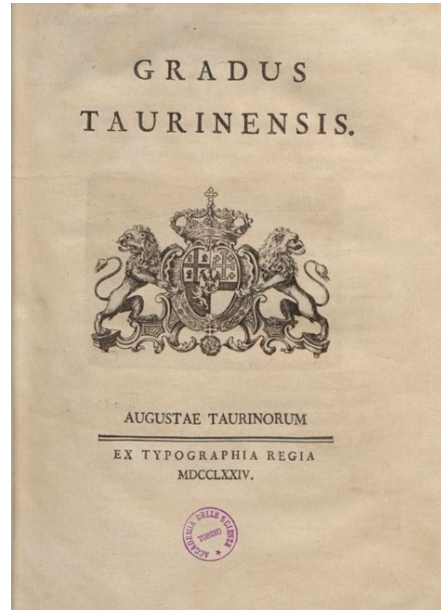


Abb. 26: „Gradus Taurinensis“, 1774

4. 1760-1764 – Piemontesische Gradmessung

Giovanni Battista Beccaria (1716-1781), Ordensgeistlicher in Rom, dann Professor der Philosophie, 1748 Professor der Physik in Turin, beginnt 1760 mit dem Abbé Domenico Canonica (1739-1790) die Gradmessung in Piemont, deren Resultate Beccaria in „*Gradus Taurinensis*“ 1774 veröffentlicht. Wegen der Zweifel Cassinis an der Genauigkeit seiner Messung weist er in „*Lettere d'un Italiano ad un Parigino*“ den Einfluss der Nähe der Alpen auf die Abweichung des Pendels nach.

Beccarias piemontesische Messung ergibt einen größeren Wert für den Meridiangrad, als nach der geographischen Breite zu erwarten gewesen wäre. P. Joseph Liesganig wiederum erhält bei der ungarischen Gradmessung 1766-1769 einen kleineren Wert. Welche „besondere Gestalt der Erdfläche“, möglicherweise die „Thäler von großen Strecken“ und die „Gebirge ... die wir nicht so nennen“, hat Liesganig wohl im Sinn, als er über deren Existenz im Zusammenhang mit der Gestalt der Erde spekuliert? Lalande findet in den Paragraphen, die Liesganig exzerpiert, in „localen Umständen“, wie etwa der seitlichen Anziehung der Berge auf das Pendel („*attraction latérale des montagnes sur le fil-à-plomb*“) einen Grund dafür, dass die Ergebnisse der Gradmessungen von den Erwartungen abweichen. Lalande erwähnt unter seinen Beispielen auch die von Liesganig

in seinem Exzerpt ausgesparte Messung Beccarias, die dem Meridiangrad zwischen Turin und Andrate an den südlichen Ausläufern des Monte-Rosa-Massivs gilt. Für Liesganigs zu kleinen Grad zwischen Kistelek, und Petrovaradin, wo weit und breit keine bedeutenden Erhebungen anzutreffen sind, versucht Lalande dagegen keine Erklärung. Liesganigs eigene Vermutung, unterirdische Metallvorkommen könnten hier die Messung verfälscht haben, oder Bošković ähnliche Idee einer unregelmäßigen Struktur der Erde auch unter ihrer Oberfläche, hält er anscheinend nicht für erwähnenswert. Für die Bestimmung der täglichen Parallaxe ergeben sich aus der Abplattung der Erde zwei Konsequenzen, die Lalande am Beispiel der Mondparallaxe diskutiert. Zum einen hängt die Parallaxe von der Entfernung des Beobachters vom Erdmittelpunkt ab, die wegen der Abplattung von den Polen zum Äquator wächst. Zum andern muss die Tatsache berücksichtigt werden, dass der Radius nicht genau senkrecht auf der Horizontebene steht.

Der für die Korrektur maßgebliche Winkel wird zunächst theoretisch aufgrund einer bestimmten Voraussetzung über die Form des irdischen Ellipsoids bestimmt. Abweichungen von den so berechneten Werten, wie sie sich bei den Gradmessungen durch erwartungswidrige Ergebnisse verraten, beeinflussen auch die zur Parallaxenbestimmung gemessenen Winkel.



Abb. 27: Joseph Liesganig (1719–1799, Portrait: Johann Lampi), Lemberger Kunstgalerie

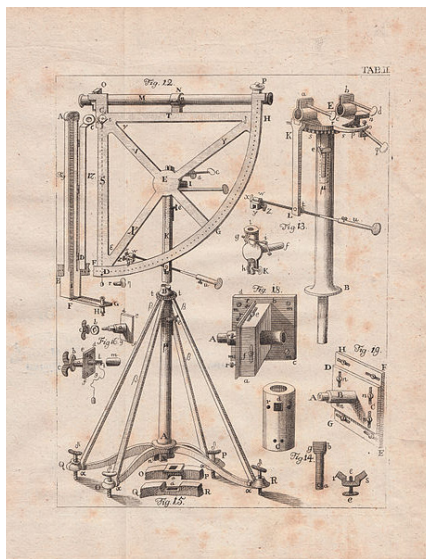


Abb. 28: Quadrant aus Joseph Liesganig: DIMENSIO GRADUUM MERIDIANI VIENNENSIS, Wien 1770

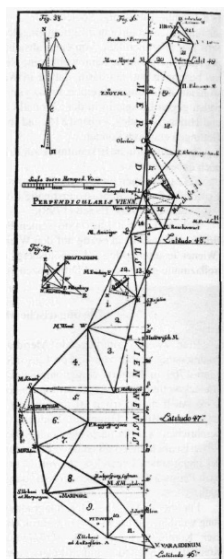


Abb. 29: Dreieckskette von Brünn nach Warasdin mit Detailskizzen der Basismessungen

5. 1761-1772 Gradmessungen von Joseph Liesganig

In seinem Testament vermacht Marinoni 1754 seine astronomischen Instrumente der Kaiserin Maria Theresia: „*tutti i miei strumenti astronomici, colli due pendoli del fu Graham, come sono disegnati e spiegati nel mio libro in foglio stampatosi ... nel 1745*“. Die Herrscherin ist der Ansicht, dass vieles ohnehin nur Leihgabe gewesen ist. Die Instrumente werden den Jesuiten übergeben, wo P. Maximilian Hell (1720-1792) seit 1755 für die Sternwarte verantwortlich ist. Von 1756 bis zur Aufhebung des Jesuitenordens 1773 ist der in Graz geborene P. Joseph Liesganig SJ (1719-1799), Theologe und Astronom, mit der Leitung der Sternwarte betraut.

Liesganigs große Leistungen sind mit den ihm von Maria Theresia aufgetragenen Gradmessungen des Wiener (1760), später auch des ungarischen Meridians verbunden. Er misst zunächst mit 6 Klafter langen Holzplatten je eine Basis bei Wiener Neustadt (1762) und im Marchfeld zwischen Seyring und Glinzendorf und schließt daran ein Triangulationsnetz bis Warasdin und Brünn an.

1765 bestimmt er die Azimute (Leopoldsberg bei Wien, Brünn, Graz) für eine Dreiecksseite und im gleichen Jahr in Wien die Länge des Sekundenpendels. Er führt bei der Gradmessung sämtliche Berechnungen auf der Kugel durch und setzt bei

der Reduktion auf Meereshöhe pro Meridiangrad 2,3 Klafter ein (nach heutigen Werten um ca. 1 m zu wenig). Insgesamt werden die Winkel von 22 Dreiecken gemessen und die Breitenunterschiede der einzelnen Stationen astronomisch bestimmt. Die Beobachtungs- und Berechnungsergebnisse fasst Liesganig in „*Dimensio graduum meridiani Viennensis et Hungarici. Augg: jussu et auspiciis peracta a Josepho Liesganig, Societatis Jesu*“, 1770, zusammen. Die einzige Unexaktheit, die Liesganig begangen hat, liegt darin, dass er wohl aus Zeitmangel in Warasdin kein Abschlussazimut gemessen hat.

Zwei wesentliche Erkenntnisse zur Erklärung der aufgetretenen Fehler sind damals noch unbekannt. Lotabweichungen im Gebirge: Liesganig weiß nur, dass Bouguer 1738 bei der Peru-Expedition am Chimborasso erstmalig Lotstörungen festgestellt hat. Der sphärische Exzess (1798): Liesganig orientiert seinen Polygonzug aus der Dreieckskette Brünn – Warasdin in Bezug auf den Wiener Meridian mit Hilfe des Ausgangsazimutes Wiener Jesuitenkolleg – Leopoldsberg. In Brünn und Graz misst er Kontrollazimute und erhält Differenzen von 34 bzw. 16 Sekunden.

Eine zweite grundlegende Meridiangradmessung wird von Joseph Liesganig 1766-1769 in Ungarn vorgenommen. Die Dreieckskette reichte von Czurok nach Kistelek. Für die ungarische



Abb. 30: Liesganigstein Wr. Neustadt

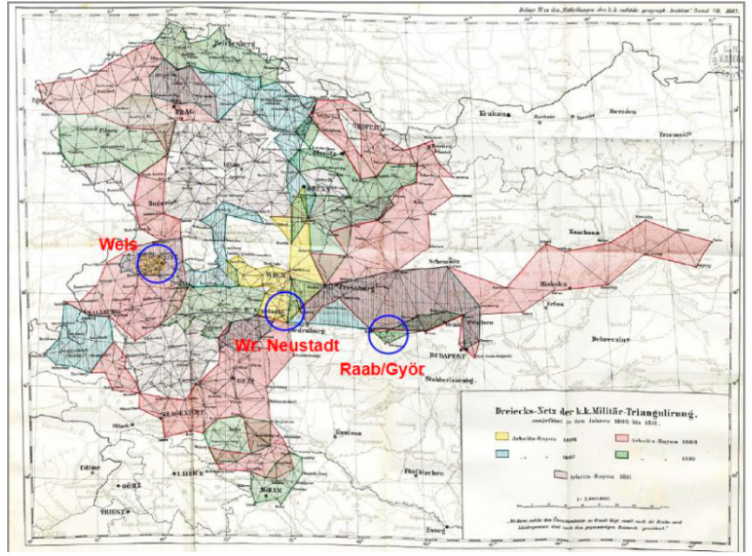


Abb. 31: K. K. Militärtriangulation (1806-1811) mit Basislinien

Meridiangradmessung werden in Czurok (Bácszer Komitat), in Kistelek (Csongráder Komitat), in Szegedin und in Peterwardein (Woiwodina) die Sonnenazimute und die Zenitdistanzen mehrerer Sternbilder mit genauer Zeitangabe beobachtet. Dabei werden diese Ergebnisse von de Lalande, Piazzi, Bradley, de la Caille und anderen mit genauer Zeitangabe verglichen.

Liesganig geht 1772 als Baudirektor nach Lemberg und ist dort mit der Kartierung Ostgaliziens und Lodomeriens beauftragt. Der «Nullpunkt» dieser Karte ist das Observatorium in Lemberg. Der hierbei verwendete Präzisions-Maßstab von 2 Fuß Länge wird an jenem Stab geeicht, den La Condamine bei der Gradmessung 1736-40 in Ecuador verwendet hat. Dadurch kann Liesganig den Übergang von Wiener Fuß bzw. Klafter zur Toise du Pérou und zum neu definierten Metermaß genauer berechnen. Am Klafter-Urmaß von 1756 wird die Liesganig'sche Toise vom Jahr 1760 geeicht und ergibt das Verhältnis von 100.000 Toisen = 102.764 Wiener Klafter. Dieses Maß wird dann zum Normalmaß aller späteren österreichischen Längenmaße bis 1817 und für den Kataster von Österreich-Ungarn.

Liesganig nimmt wichtige Instrumente, wie einen Sektor, eine astronomische Uhr, einen Quadranten und ein Newton'sches Fernrohr aus Wien nach Lemberg mit. Die Wiener astronomische Ephemeride von 1765 veröffentlicht Beobachtungen der Sonnenfinsternis, die 1764 mit einer astronomischen Uhr, einem Mikrometerquadranten und einem Newton-Teleskop in Lemberg gemacht werden. Seit 1775 wirkt Liesganig als Professor der Mechanik und als Vorstand der mechanischen Werkstätten am Collegium Nobilium in Lemberg, 1785 leitet er die Katastervermessung für Galizien. Im Zuge der Revolution 1848 werden die Instrumente der Vermessungssammlung so beschädigt, dass sie eingeschmolzen werden müssen.



Abb. 32: Karte von Ostgalizien (Ausschnitt) 1824 nach Liesganig (1794)

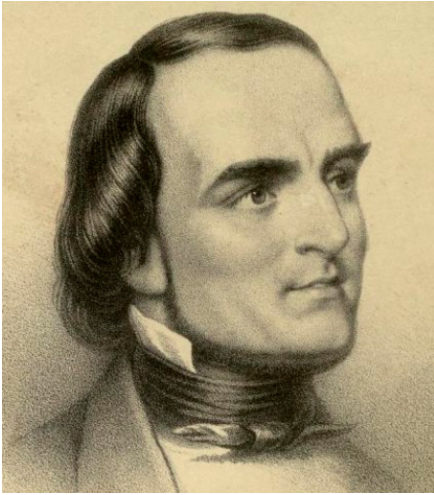


Abb. 33: Charles Mason (1728-1786)



Abb. 34: Jeremiah Dixon (1733-1779)

6. 1764-1768 Mason-Dixon Linie

Mit ihrer Vermessung gelingt den beiden jungen englischen Wissenschaftlern Charles Mason (1728-1786) und Jeremiah Dixon (1733-1779) ein historisches Werk, das man noch 250 Jahre später als vermessungstechnischen Durchbruch rühmen wird. Die nach den beiden Vermessern benannte Mason-Dixon-Linie wird zu Amerikas berühmtester Grenze. Ihr Verlauf trennt Nord- und Südstaaten voneinander, eine Spaltung, die noch heute in den Vereinigten Staaten gegenwärtig ist.

1751 schlägt ein Gerichtsurteil alles, was über 15 Meilen (etwa 24 km) südlich des südlichsten Punkts von Philadelphia liegt, Maryland zu. Die Stadt verbleibt jedoch im Land der Penns. 1760 einigt man sich auf die exakte Länge der Halbinselquerung und legt den Mittelpunkt fest, der

die Basis für die Teilung und damit Ostgrenze Marylands ist. Als Tangent Line bezeichnet man die Linie, die zur kreisförmigen Umschließung der Stadt New Castle zu messen ist. Das ist mit den Mitteln dieser Zeit beinahe unmöglich, wie man an der gescheiterten amerikanischen Expedition von 1761 sieht. Die Vermesser ziehen vom Mittelpunkt der Halbinsel aus eine Linie in nördlicher Richtung in die Zwölf-Meilen-Zone und ermitteln dann durch Winkelberechnungen den Punkt, an dem die Grenzlinie den Kreis tangiert. Gleichzeitig wird der Winkel bestimmt, der zwischen der nach Norden ausgerichteten Linie und der eigentlichen Tangent Line liegt: $3^\circ 32' 5''$. Beim anschließenden Versuch, jene Linie zu ziehen, verfehlt man allerdings die Zwölf-Meilen-Zone um mehr als 100 Meter. Eine weitere Vermessungskampagne zieht eine



Abb.35: Die Vermessung der Mason-Dixon-Linie





Abb. 36: Der „Sternguckerstein“ in einem Feld rund 50 km westlich von Philadelphia



Abb. 37: Bird, tragbarer astronomischer Quadrant, 1760

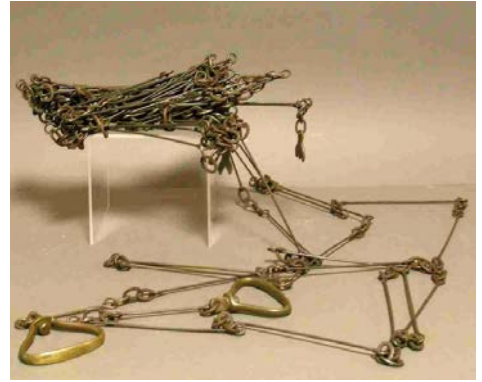


Abb.38: Messkette (Gunter's chain) 66 feet (20.117 m) aus 100 links zu 7.92 inches (201 mm)

Grenze quer durch die Delmarva-Halbinsel, die von Ost nach West verlaufende „Transpeninsula Line“. An der Messung der Grenzlinien scheitern die amerikanischen Vermesser letztlich. Den Gouverneuren der Kolonien bleibt nichts anderes übrig, als zwei Experten aus der alten Heimat zu Hilfe zu rufen. 1763 werden Charles Mason und Jeremiah Dixon von den beiden Besitzerfamilien beauftragt, die Grenze zwischen beiden Kolonien endgültig festzulegen.

Der vermessungstechnische Wandel der Zeit kommt in den Territorien der Neuen Welt besonders zum Tragen. Jahrtausendlang hat man Ländergrenzen an topographischen Gegebenheiten festgemacht. Nun sollen Koordinaten aus Breiten- und Längengraden ein absolutes Gerüst bilden, das auch in Terra incognita funktioniert.

Das weltumspannende Zahlennetz muss auf der Erdoberfläche auffindbar sein. Für die Vermesser eine große Herausforderung, der am ehesten Spitzenforscher aus der Royal Society gewachsen sind.

Mason und Dixon bringen als Prunkstück der wissenschaftlichen Ausrüstung ein hochmodernes Zenitteleskop aus der Werkstatt John Birds in die Neue Welt mit. Das Instrument erlaubt ihnen, die genaue Position von Sternen zu bestimmen und Rückschlüsse auf den Standort des Betrachters auf der Erde zu ziehen. Inklusive Halterung misst es zweieinhalb Meter. Um es zu benutzen, muss man sich darunterlegen, da das Okular knapp über dem Boden angebracht ist.

Die Grenze entlang der „Westline“ soll parallel zu einem Breitengrad verlaufen, sodass Mason



Abb. 39: Denkmal am »Post mark'd West«, von Mason und Dixon



Abb. 40: Bird, Transzitelleskop, Independence Hall, Philadelphia © m.frdl.Gen.V.Jeffrey Lock



Abb. 41: Delambre, Méchain, Gradmessung Dünkirchen-Paris-Barcelona, 1792

Abb. 42: Urmeter, 1795



und Dixon eine kontinuierliche Erdkrümmung berücksichtigen müssen. Es genügt nicht, eine eingeschlagene Richtung schnurgerade zu verfolgen, theoretisch muss nach jeder Meile per Sternbeobachtung die exakte Westrichtung ermittelt werden, was Jahre in Anspruch genommen hätte. Um die 300 Kilometer lange Strecke in angemessener Zeit bewältigen zu können, entwickelt man eine neue Messmethode.

Die Strecke wird in gerade Etappen von 11,37 Meilen Länge aufgeteilt und dann für jede Etappe rückwärts arbeitend „die Gerade gekrümmt“. Vor der Vermessungskampagne berechnet Mason, wie weit sie bei jeder 11-Meilen-Etappe vom tatsächlichen Breitengrad abweichen würden. Die erforderlichen Berechnungen sind vergleichsweise komplex und nur mit Hilfe sphärischer Trigonometrie möglich. Laut Analyse beträgt die maximale Abweichung am Mittelpunkt der geraden Linie 5,22 m. Die Vermessung im Winkel von exakt $89^{\circ} 55' 53''$ westwärts zur wahren Nordrichtung orientiert sich an Sternpositionen. Am jeweiligen Ende des Abschnitts bestimmen Mason und Dixon mit dem Zenitteleskop, ob sie sich noch auf dem gewünschten Breitengrad befinden. Dann berechnen sie für den zurückliegenden Abschnitt die Abweichungen zwischen ihrer Geraden und der Parallele zum Breitengrad. Dadurch können sie auf dem Rückweg die Meilenpfosten an die entsprechende Position auf der eigentlichen Grenzlinie versetzen. Um die Arbeit weiter zu beschleunigen, entwickeln sie eine Methode, bei der sie zunächst im rechten Winkel zueinander stehende Strecken abmessen und daraus die Richtung nach Westen ableiten kön-

nen, ohne unterwegs ihren Kurs permanent durch Sternbeobachtung zu prüfen.

Hier zeigt sich die eigentliche Leistung der Vermessungspioniere. Um ein korrektes Ergebnis abzuliefern und die Dauer und die Kosten der Kampagne nicht ausufern zu lassen, analysieren sie die vorliegenden Problemstellungen und kombinieren verschiedene neue astronomische, mathematische und vermessungstechnische Methoden.

7. 1792-1799 Gradmessung Dünkirchen – Paris – Barcelona

Seit der Französischen Revolution wird breit darüber diskutiert, wie man die unzähligen lokalen Maße und Gewichte in Frankreich vereinheitlichen könnte. Viele Gelehrte haben sich dafür ausgesprochen, die Pariser Maß- und Gewichtsstandards für die gesamte Nation zu übernehmen. Im März 1790 unterbreitet Charles-Maurice de Talleyrand (1754-1838), bedeutendster Staatsmann und Diplomat während der Französischen Revolution, unterstützt von einigen Mitgliedern der Akademie der Wissenschaften, der französischen Nationalversammlung den Vorschlag, die Einheit der Länge auf ein der Natur entnommenes, unvergängliches und reproduzierbares Maß zu gründen. 1791 beschließt die Nationalversammlung, den zehnmillionsten Teil des durch Paris führenden Erdmeridianquadrantens 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 Mantouy bei Barcelona reicht und gleichzeitig auch

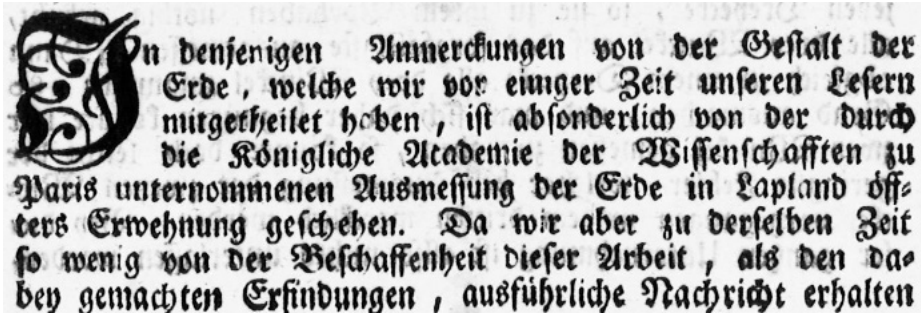


Abb. 43: Leonhard Euler, Von der Gestalt der Erden, 1738 (Anfang)

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. Trotzdem werden sehr gute Ergebnisse erzielt, sodass die Gradmessung heute noch als bedeutende geodätisch-astronomische Leistung gewürdigt wird.

An den Arbeiten im Zusammenhang mit der Gradmessung und der Einführung des Meters ist auch Jean Charles Borda (1733-1799) 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 der 1790 gegründeten Kommission für Gewichte und Maße, kreiert für die neu geschaffene Längeneinheit den Namen „mètre“. Gebaut werden die Borda-Kreise vom berühmten französischen Instrumentenbauer Etienne Lenoir (1699–1778).

Der einzige Knotenpunkt der Kette von Triangulationsdreiecken in Paris ist das Pantheon. Das neu erbaute Gebäude, das vor der Umwandlung zum Mausoleum zunächst als provisorisches Lager für Tausende von alten Gewichten und Messlatten benutzt wird, die aus den Provinzstädten angefordert worden sind, um sie mit den neuen republikanischen Maßen zu vergleichen, hat Delambre als das geeignetste Fernziel in Paris ausgesucht. Die Laterne auf der Spitze der Dachkuppel ist von den benachbarten Triangulationsstationen im Umkreis der Stadt gut sichtbar und die Messungen werden von Delambre in den Jahren 1792-1793 durchge-

führt. 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.

8. Zusammenfassung

Leonhard Euler berichtet in seiner von der Kaiserlich Russischen Akademie der Wissenschaften bereits 1738 veröffentlichten Abhandlung „Von der Gestalt der Erden“ über die französische Expedition nach Lappland, die „der Ausmessung der Erde“ dient: „Diejenigen, welche der Erd-Kugel die vollkommene Rundung abgesprochen, waren bisher in zwey ganz wiederwärtige Partien zertheilet, davon die eine Partie behauptete, daß die Erde eine gegen ihren Polis abgekürzte Rundung habe, und der Gestalt nach einer Pomeranzen oder Apelsine ähnlich sey. Die andere Partie hingegen glaubte, daß die Figur der Erde vielmehr gegen den Polis ablang sey und mit einer Melonen oder Limonen verglichen werden müsse; welche zwey Meinungen also einander schnurstracks entgegen sind.“ Durch die Messergebnisse von Maupertuis ist für Euler die Abplattung der Erde an den Polen bewiesen. Dennoch ist Euler noch auf die Erkenntnisse der zweiten französischen Gradmessungs-Expedition nach Südamerika gespannt, „als deren Observationen gegen diejenigen, welche in Lappland gemacht worden sind, gehalten und unter sich verglichen werden müssen. Dann wann anjetzo gleich schon so viel gewiß ist, daß die Erde unter dem Aequatore dicker ist, als zwischen den Polis, und der Gestalt einer Pomeranze gleicht; so ist doch die eigentliche Verhältnuß zwischen dem Axe der Erde, welcher von einem Polo zu dem anderen gehet, und dem Diameter oder Durchmesser des Aequatoris noch nicht bestimmt.“

Statistische Angaben über die Gradmessungen bis 1900 einschließlich der Literatur

Gradmessung	Jahr	Beobachter bzw. Organisator	Δ	Stat.
Peru	1735–1744	Bouguer–La Condamine	3° 07'	2
Lapland	1736–1737	Maupertuis–Clairaut	0° 58'	2
Schweden	1801–1803	Svanberg–Oferbom	1° 37'	2
Frankreich	1669–1670	Picard	1° 23'	2
Frankreich	1680–1718	Cassini I–Cassini II–Lahire père et fils	8° 31'	3
Frankreich „Mérienne Verifiée“	1739–1740	C. F. Cassini III de Thury–Lacaille	8° 20'	5
Frankreich–Spanien	1792–1798	Delambre–Méchain	9° 40'	6
Kirchenstaat	1751–1753	Boscovich–Lemaire	2° 10'	2
Piemont	1762–1764	Beccaria–Canonica	1° 08'	
Österreich	1762–1767	Liesganig	2° 53'	4
Ungarn	1768	Liesganig	1° 13'	
Pennsylvanien	1764–1768	Mason–Dixon	1° 29'	2

Endpunkte	Mittlere		Veröffentlicht in
	Breite	Länge	
Tarqui–Cochesqui	1° 31' S	281° 16'	1) Bouguer, P.: „La figure de la Terre déterminée par les observations environs de l'équateur“, Paris 1749. 2) La Condamine, C. M. de: „Mesure de trois premiers degrés du méridien dans l'hémisphère austral“, Paris 1751.
Tornauc–Kittis	66° 20' N	24° 53'	Maupertuis, P. L. M.: „La figure de la Terre déterminée par les observations au cercle polaire“, Amsterdam 1738.
Malörn–Paktawara	66° 20' N	24° 53'	Svanberg, J.: „Expositions des opérations en Laponie“, Stockholm 1805; u. <i>Zachs Monatl. Corresp.</i> Bd. XII u. XIV, Gotha, 1805/06.
Malvoisinc–Amiens	48° 13' N	2° 20'	Picard, J.: „Traité de la mesure de la Terre“, Paris 1671; Neuaufl. <i>Mém. Acad. Paris</i> pour 1718, Paris 1720.
Collioure–Dünkirchen	46° 46' N	2° 20'	Cassini, J.: „De la grandeur et la figure de la Terre“, <i>Mém. Acad. Paris</i> pour 1718, Paris 1720 und Amsterdam 1723.
Perpignan–Dünkirchen	46° 44' N	2° 20'	Cassini de Thury, C. F.: „La méridienne vérifiée...“, Paris 1744.
Montjoui–Dünkirchen	46° 12' N	2° 20'	Delambre, J. P. J. – Méchain, P. F. A.: „Base du système métrique décimal...“, 3 Bde., Paris 1806, 1807, 1810.
–			
Roma–Rimini	43° 01' N	12° 30'	Boscovich, R. G.: „De litteraria expeditione per Pontificiam ditonem ad dimentiendos duos meridiani gradus“, Roma 1775.
Mondovi–Andrate	44° 44' N	7° 30'	Beccaria, G. B.: „Gradus Taurinensis“, Turin 1774.
Brünn–Varasdin	47° 46' N	16° 20'	1) Liesganig, J.: „Dimensio graduum meridiani Viennensis et Hungarici“, Wien 1770.
Peterwardein–Kistelek	45° 52' N	20° 00'	2) Embacher, P.: „Die Liesganigsche Gradmessung“, <i>Österr. ZfV</i> , Wien 1951, S. 17–22, S. 51–55.
	39° 12' N	282° 30'	1) Dixon, J.–Mason, C.: „Observations for determining the length of a degree of latitude in the provinces of Maryland and Pennsylvania“, <i>Phil. Trans.</i> Vol. 58, London 1769, Seite 270–328. 2) Gore, J. H.: „Die Pennsylvanische Gradmessung von Mason und Dixon (1764–1768)“, <i>ZfV</i> , Stuttgart 1888, S. 33–39.

Der Jesuit P. Rudjer Josip Bošković erkennt das Problem der Lotabweichungen durch die Anomalien des Schwerefelds der Erde im Gebirge und führt eine Meridiangradmessung im Kirchenstaat in relativ flachem Gelände durch. Bošković entwickelt auch eine rechnerische Methode zur Ausgleichung der Restfehler der Messungen. Seinen Anregungen folgend, messen Beccaria, Mason und Dixon und Liesganig weitere Meridianstreifen.

Beccarias piemontesische Messung ergibt einen größeren, Liesganigs ungarische einen kleineren Gradabstand, als nach der geographischen Breite zu erwarten gewesen wäre. Möglicherweise verfälschen unterirdische Metallvorkommen die Messungen oder eine unregelmäßigen Struktur der Erde auch unter ihrer Oberfläche. Die Gradmessungen von P. Joseph Liesganig schaffen die Grundlagen für die unter Kaiserin Maria Theresia begonnene erste oder Josephinische Landesaufnahme im Kaisertum Österreich 1764–1787. Nach dem Erwerb Ostgaliziens durch die 3. Teilung Polens 1772, schafft Liesganig in Lemberg bis 1794 ein Kartenwerk des Kronlands.

Amerikas berühmteste Grenze entsteht 1764–1768, als zwei jungen englischen Vermessern ein historisches Meisterwerk gelingt. Die hunderte Kilometer lange Mason–Dixon–Linie soll zerstrittene Kolonisten einen. Ihr Verlauf trennt, gedanklich quer durch den Kontinent verlängert, Nord- und Südstaaten voneinander, damit Befürworter und Gegner der Sklaverei, Union und Konföderierte. Eine Spaltung, die noch heute in den Vereinigten Staaten sichtbar ist.

Bei der Gradmessung Dünkirchen–Paris–Barcelona am Ende des 18. Jahrhunderts kommen neuartige Vermessungsinstrumente von Borda zum Einsatz. Auf Beschluss der revolutionären Französischen Nationalversammlung wird erstmals die neue Maßeinheit Meter verwendet.

Abb. 44: Straßer Georg, *Ellipsoidische Parameter der Erdfigur*, München, 1957

Referenzen

- Allmer Franz*, Liesganigs Leben u. Wirken u d. Vermessungstechnik seiner Zeit, Hist.V. f.Stmk, 1989/90
- Beccaria Giovanni Battista*, Gradus Taurinensis, Turin 1774
- Bodenmann Siegfried*, Mandarine oder Melone: Die Kontroverse um die Gestalt der Erde und die französische Lapplandexpedition (1736-1737), Halle/Saale 2005
- Bouguer Pierre*, *La Condamine Charles-Marie*, La figure de la terre, Paris 1749
- Crane Nicholas*, Latitude, The astonishing adventure that shaped the world, London 2021
- Danson Edwin*, Drawing the Line, Hoboken 2000
- Euler Leonhard*, Von der Gestalt der Erden, St. Petersburg 1738
- Euler Leonhard*, De repraesentatione superficiei sphaericae super plano, De projectione geographica superficiei sphaericae, St. Petersburg 1777
- Hiermanseder Michael*, Aus der Korrespondenz von Johann Jakob von Marinoni mit Leonhard Euler 1736-1751, VGI 2/2018, S 92-135 (1.Teil), VGI 4/2018, S 264-305 (2. Teil)
- Hiermanseder Michael*, Die Mason-Dixon-Linie, VDVmagazin 1/2023, S 6-11
- Hiermanseder Michael*, *König Heinz*, Johann Jakob von Marinoni - geadelt und getadelt, Schöpfer des Mailänder Kartasters, Kartograph, Wissenschaftler, VGI 2/2017, S 60-141
- Hollstein Sebastian*, Mason-Dixon-Linie, 2018, <https://www.spektrum.de/news/wie-amerikas-beruehmteste-grenzenentstand/1583702>
- Liesganig Joseph*, Dimensio graduum meridiani Viennensis, Wien 1770

Marinoni Joh. Jak., De astronomica specula domestica et organico apparatu astronomico, Wien 1745

Marinoni Johann Jakob, De re ichnometrica, veteri, ac nova recensetur experimenta per utramque habita accedunt modi areas fundorum sine calculo investigandi, Wien 1775

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, Discours à l'académie des sciences sur la mesure du degré du méridien au cercle polaire, Paris 1737

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

Pärr Nora, Wiener Astronomen - Ihre Tätigkeit an Privatobservatorien und Universitätssternwarten, Diplomarbeit, Wien 2001

Pärr Nora, Maximilian Hell und sein wissenschaftliches Umfeld, Dissertation, Wien 2011, J.J. Marinoni, Blick zurück ins Universum, S 180 ff

Straßer Georg, Ellipsoidische Parameter der Erdfigur, München 1957

Ulloa Antonio, *Juan Jorge*, Relacion historica del viage a la America Meridional, Madrid 1748

Anschrift des Autors

Dr. Michael Hiermanseder, Managing Director, Leica Geosystems Austria GmbH (ret.); Partner, Rudolf & August Rost (ret.), Sommerergasse 11/5, A-1130 Wien.
E-Mail: hiermanseder@gmx.net

vgi

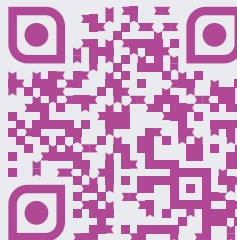
Folgen Sie uns auf Social Media!



...bereits über 600 Personen tun es schon !



shorturl.at/kptxE



shorturl.at/ekwxW



shorturl.at/jnDJ5