

Preußische Gradmessungsarbeiten im 19. Jahrhundert

Von Joachim Höpfner, Potsdam

INTERGEO 2014 in Berlin

Vortrag am 9. Oktober 2014

Preußische Gradmessungsarbeiten im 19. Jahrhundert

Von Joachim Höpfner, Potsdam

	Seite
Zusammenfassung	3
1. Einführung	4
2. Zur Geschichte von Brandenburg und Preußen	5
2.1. Geschehnisse zum Werdegang von Brandenburg	5
2.2. Geschehnisse zum Werdegang von Preußen	7
3. Historische Erkenntnisse und Gradmessungen	9
4. Politische Ereignisse in Europa zu Beginn des 19. Jahrhunderts	15
5. Deutsche Landestriangulationen, ausgeführt im 19. Jahrhundert	17
6. Praktische geodätische Arbeiten im Königreich Preußen	19
6. 1. Zeitabschnitt von 1817 bis 1857	19
6. 2. Zeitabschnitt von 1857 bis 1885	32
7. Bearbeitung des Beobachtungsmaterials und erhaltene Ergebnisse	47
7. 1. Lotabweichungen in Zentraleuropa	51
7. 2. Längengradmessungen	53
7. 3. Lotabweichungen im Harz und in seiner weiteren Umgebung	59
8. Schlußbemerkungen	62
Literatur	63

Zusammenfassung

Bereits in der Antike wurde die Erkenntnis von der Kugelgestalt der Erde aus Beobachtungen, z. B. in der Schifffahrt oder bei auftretenden Mondfinsternissen, gewonnen. Seitdem war das Interesse groß, die Größe und Figur der Erde zu bestimmen. 250 v. Chr. führte *Eratosthenes* die erste Gradmessung zur Berechnung des Erdumfangs aus. Das Verfahren der Breitengradmessung wurde über Jahrhunderte angewandt. Dabei konnte aber erst eine deutliche Genauigkeitssteigerung erreicht werden, nachdem die im Jahre 1615 vom niederländischen Geometer *Snellius* erfundene Dreiecksmessung (Triangulation) zur Übertragung einer kurzen gemessenen Strecke auf eine lange Dreiecksseite verwendet wurde.

Zuerst zeigen wir auf, wie die Markgrafschaft Brandenburg zum Königreich Preußen wurde. Dann werden die Erkenntnisse und Arbeiten, die von Beginn an zur Beantwortung der Frage nach der Größe und Figur der Erde weiterführend waren, im Überblick aufgezeigt. Weiter werden die im 19. Jahrhundert ausgeführten preußischen Gradmessungsarbeiten ausführlich dargestellt. Zuletzt werden die Lotabweichungen, die aus den preußischen und den anderen europäischen Gradmessungen nach den Formeln von *Helmert* abgeleitet wurden, gemäß schrittweiser Netzausbreitung gegeben. Auch die im Harz und seiner weiteren Umgebung angestellten speziellen Untersuchungen werden beschrieben, die nicht nur die Lotabweichungen, sondern auch die Geoidhöhen betreffen.

1. Einführung

In der Antike hatten die Menschen erkannt, daß die Erde keine Scheibe ist, sondern die *Form einer Kugel* hat. Daraufhin haben Griechen *erste Gradmessungen* zur Bestimmung der Größe der Erde angestellt. Im Jahr 230 v. Chr. war es der griechische Geograph **Eratosthenes**, der aus einer Breitengradmessung in Ägypten zwischen Alexandria und Syene (Assuan) den *Erdumfang* berechnete. 827 n. Chr. haben Araber Breitengradmessungen ausgeführt. In den folgenden Jahrhunderten wurden astronomische Winkelbestimmungen deutlich genauer, wohingegen nur geringe Fortschritte an Genauigkeit für die Messungen der Entfernungen auf der Erdoberfläche erreicht wurden. Erst die *Triangulation*, die der niederländische Physiker **Snellius** im Jahre 1617 erstmals zur Vergrößerung der gemessenen Basis angewandt hat, brachte eine wesentliche Verbesserung in dieser Hinsicht und demzufolge auch für seine Breitengradmessung. Mit der Triangulation wurde die Ausführung der Messungen großer Entfernungen einfacher und die daraus berechneten Ergebnisse genauer.

Nachdem Ende des 17. Jahrhundert **Isaac Newton und Christian Huygens** zu der Erkenntnis kamen, daß die Erde ein an den Polen *abgeplattetes Rotationellipsoid* sein muß, beschäftigte man sich intensiv mit der Bestimmung der Größe und Figur der Erde.

Zwei historische Ereignisse haben sich besonders auf die Landesvermessungen und Gradmessungen im 19. Jahrhundert ausgewirkt:

- der Zusammenbruch des napoleonischen Staatensystem und der Wiener Kongreß 1814/1815 und
- die Gründung der Mitteleuropäischen Gradmessung 1862.

Seitdem sind 200 Jahre bzw. 150 Jahre vergangen und deshalb ein guter Grund dafür, auf die beiden Jubiläen schon hier in der Einführung zum Thema zu verweisen.

2. Zur Geschichte von Brandenburg und Preußen

2.1. Geschehnisse zum Werdegang von Brandenburg

7. Jh. Slawische Stammesgruppen besiedeln brandenburgischen Raum
- 919 Ostfränkische (deutsche) Königskrone ging auf *Herzog Heinrich von Sachsen* über
- 928** *König Heinrich I.* unterwirft die **Burg Brandenburg**, die Hauptfeste der *Heveller*, d.h. der Havel-Slawen.
- 948/49 *Otto I. der Große*, Sohn und Nachfolger von *Heinrich I.*, gründet die Bistümer Brandenburg und Havelberg
- 1150** *Albrecht der Bär* (um 1100-1170, *Askanier*) erbt vom letzten *Hevellerfürst Pribislaw-Heinrich* Brandenburg
- 1154 Er wird von *König Lothar III.* zum Befehlshaber in der Nordmark ernannt
- 1157** *Albrecht der Bär* erstürmt die *Burg Brandenburg*, die sich *Jaczo* von Köpenick angeeignet hatte; das Herrschaftsterritorium Havelland und Zauche wird **Markgrafschaft Brandenburg**; Beginn der Kolonisierung und Stabilisierung der neuen Machtverhältnisse, rasche Ausweitung des Gebietes
- 1412/15** **Kurfürstentum Brandenburg**, Kernland des späteren Königreichs Preußen, Beginn der **Hohenzollernzeit** mit *Burggraf Friedrich von Nürnberg* (1371-1440) als Landesherrn, ab 1415 **Kurfürst Friedrich I.**
- 1506 Gründung der ersten Universität Brandenburgs in Frankfurt/Oder (bis 1811, vereinigt mit Uni Breslau)
- 1539 Anschluß Brandenburgs an die lutherische Kirchenreformation unter *Kurfürst Joachim II., Hektor* (1505-1571)
- 1568** Brandenburg erhält Mitbelehnung für das **Herzogtum Preußen (Ostpreußen)**
- 1608 Auf dem Erbwege werden Kleve, Mark und Ravensberg übernommen
- 1618** Auf dem Erbwege wird das **Herzogtum Preußen (Ostpreußen)** mit Brandenburg in Personalunion **zum brandenburgisch-preußischen Staat vereinigt** unter *Kurfürst Johann Sigismund* (1572-1619)
- 1644 Beschluß zur Aufstellung eines stehenden Heeres in Brandenburg (Grundstein für Armee)
- 1648 Hinzu kommen Hinterpommern, Magdeburg-Halberstadt und Minden
- 1662 Einführung der Schulpflicht durch *Friedrich Wilhelm, den Großen Kurfürsten* (1620-1688)

Deutsches Reich (Ostfranken) unter Otto I. um 950



Otto I. (912-973), König der Ostfranken (ab 962 Kaiser) baute ein starkes Herrschaftsgefüge auf. Das Vorrücken gegen die Slawen im Osten verblieb gewöhnlich den Markgrafen überlassen.

2. Zur Geschichte von Brandenburg und Preußen (Fortsetzung)

2.2. Geschehnisse zum Werdegang von Preußen

- 1226/30 *Deutscher Orden* erobert und missioniert das **Gebiet der heidnischen Pruzzen (Preußen)** zwischen unterer Weichsel und Kurischem Haff, Schaffung des **Deutschordensstaates**
- 1255 Gründung Königsbergs
- 1525 Ordensstaat wird **Herzogtum Preußen (Ostpreußen)**
- 1618 Auf dem Erbwege in Personalunion **zum brandenburgisch-preußischen Staat vereinigt**
- 1662 Einführung der Schulpflicht durch **Friedrich Wilhelm, den Großen Kurfürsten (1620-1688)**
- 1701 **Kurfürst Friedrich III. (1657-1713)** krönte sich in Königsberg zum **König „in“ Preußen**, Aufstieg des Kurfürstentums Brandenburg zum **Königreich Preußen** unter **König Friedrich I.**
- 1702 Oranisches Erbe: Grafschaft Lingen, Moers, das Fürstentum Neuenburg (Schweiz); weiter Tecklenburg, Nordhausen und Quedlinburg; Kauf von sächsischen Territoriums im Südwesten Brandenburgs
- 1713 Hinzu kommen: Obergeldern
- 1720 Erwerb: Ostteil von Schwedisch-Vorpommern bis zur Peene mit Stettin, Wollin und Usedom
- 1744 Preußen erhält erbweise Ostfriesland mit Emden und Aurich
- 1745/63 Schlesische Kriege: **König Friedrich II., der Große (1712-1786)** erwarb mit Hinweis auf Erbansprüche Teile Schlesiens von Österreich
- 1772 Erste Teilung Polens: Preußen erhält Westpreußen, Fürstentum Ermland und Netzedistrikt mit Bromberg
- 1791 Erwerb der hohenzollernschen Markgrafschaften Ansbach und Bayreuth
- 1793/95 Zweite und dritte Teilung Polens: Danzig, Thorn, Süd-Preußen und Neu-Ost-Preußen

Königreich Sachsen

- 1697 *August I. von Sachsen* wurde zum **König von Polen** gekrönt: *August der Starke*

2. Zur Geschichte von Brandenburg und Preußen (Fortsetzung)

2.2. Geschehnisse zum Werdegang von Preußen

Königreich Preußen

- 1806 Bündnis von Preußen mit Sachsen gegen *Napoleon*, nach seiner Zerschlagung avancierte *Sachsen zum Königreich* von Napoleons Gnaden; Niederlage von Preußen bei Jena und Auerstedt
- 1807 **Frieden von Tilsit:** Preußen wurde auf seine rechtseibischen Kernräume beschränkt; d. h. Ost- und Westpreußen (ohne Danzig), Pommern, Schlesien und Brandenburg (ohne Altmark).
- 1814-1815 Wiener Kongreß:** Neue Ära
Die Beschlüsse erhoben das *Königreich Preußen* zur stärksten Macht Norddeutschlands von den Rheinlanden und Westfalen über *die erweiterten Mittelprovinzen* (Gebiete von Sachsen) bis nach West- und Ostpreußen
- 1866 Als Folge der Auflösung des Deutschen Bundes und des Krieges mit Österreich wurden annektiert: Hannover, Schleswig-Holstein, Nassau, Hessen-Kassel nebst Frankfurt
- 1871 Nach Sieg über Frankreich: **König Wilhelm I. (1797-1888) von Preußen** wird zum *Deutschen Kaiser* proklamiert; Beginn der Gründerzeit im Deutschen Reich

3. Historische Erkenntnisse und Gradmessungen

Zur Beantwortung der Frage nach der Größe und Figur der Erde waren die nachstehenden Erkenntnisse und Arbeiten weiterführend:

- 250 v. Chr.** *Pythagoras* (geb. 540 v. Chr.) erklärt als erster die Erde für eine *Kugel*
- 250 v. Chr.** *Eratosthenes von Kyrene* (276-194 v. Chr., griech. Geograph) führt Breitengradmessung in Ägypten zwischen Alexandria und Syene (Assuan) mit Hilfe von *Sonnenlicht* aus, er erhält die Ausdehnung von $7^{\circ} 12'$ als Winkel im Erdmittelpunkt und mit der Länge aus *Kamelreisezeit* ein Ergebnis in heutigen Einheiten von 112 km/Grad oder umgerechnet auf den Erdumfang 40320 km, d. h. etwa 250 km zu groß
- 80 v. Chr.** *Poseidonios* (135-51 v. Chr.) macht Gradmessung zwischen Alexandria und Rhodos mittels Sternhöhenbeobachtung
- 827 n. Chr.** *Al-Mamun Abdallah* (Kalif von Damaskus, reg. 813-833) veranlaßt Erdmessung in Mesopotanien mit Hilfe des *Polarsterns*: Winkel von 2° im Erdmittelpunkt und zugehörige Länge des Kreisbogens von 224,4 km ergeben 40392 km als Erdumfang
- Anfang des 16. Jh. Wiederaufblühen der Wissenschaften mit neuen Aktivitäten zur Bestimmung der Größe der Erde
- 1525** *Jean Francois Fernel* (1497-1558, franz. Arzt u. Mathematiker) macht *erste europäische Gradmessung* zwischen Paris und Amiens mit *Rad und Quadrant*
- 1615** *Snellius*, Willebrord Snell van Rojen (1591-1626, niederländ. Mathematiker u. Geometer) erfindet die *Dreiecksmessung (Triangulation)* zur Breitengradmessung: Zwischen Alkmaar und Bergen op Zoom erhält er den Winkel von 1° im Erdmittelpunkt und die zugehörige Meridianbogenlänge von 107,33 km, folglich 38639 km als Erdumfang
- 1635** *Richard Norwood* (1590-1675, engl. Wiss.) benutzt zur Längenmessung zwischen London und York eine *Kette*
- 1669-1670** *Abbe Jean Picard* (1620-1682, franz. Geometer) erneuert Gradmessung zwischen Paris und Amiens mit *Winkelquadranten* und berechnet 57060 Toisen/Grad ((1 Toise = 1,949 Meter) bzw. 111,210 km/Grad. Er findet, daß die Methode der Triangulation zur Aufnahme einer genauen Karte benutzt werden kann) .

3. Historische Erkenntnisse und Gradmessungen (Fortsetzung)

- 1673** *Christian Huygens* (1629- 1695, niederländ. Mathematiker, Physiker u. Astronom) fand das Zentrifugalgesetz und gelangt zu der Erkenntnis, daß die Erde an den Polen abgeplattet und am Äquator aufgewölbt sein muß
- 1687** *Isaac Newton* (1643-1727, engl. Mathematiker, Physiker und Astronom) entdeckt das Gravitationsgesetz und kommt ebenso zu der Erkenntnis, daß die Erde ein *an den Polen abgeplattetes Rotationellipsoid* sein muß.
- 1680** *Cassini I.*, Jean Dominique Cassini (1625-1712) und *Philippe de la Hire* (1640-1718) beginnen die Vermessung Frankreichs, die erst **1718** *Cassini II.*, Jaques Cassini der Jüngere (1677-1756) beendet. Das Gebiet von Perpignan bis Dünkirchen mit einer Ausdehnung von $8\frac{1}{2}$ Grad lieferte für die Länge eines Grades aus Gradmessungen
- von Paris bis Collioure (südlicher Teil) 57097 Toisen (111,282 km) und
 - von Paris bis Dünkirchen (nördlicher Teil) 56960 Toisen (111,015 km).

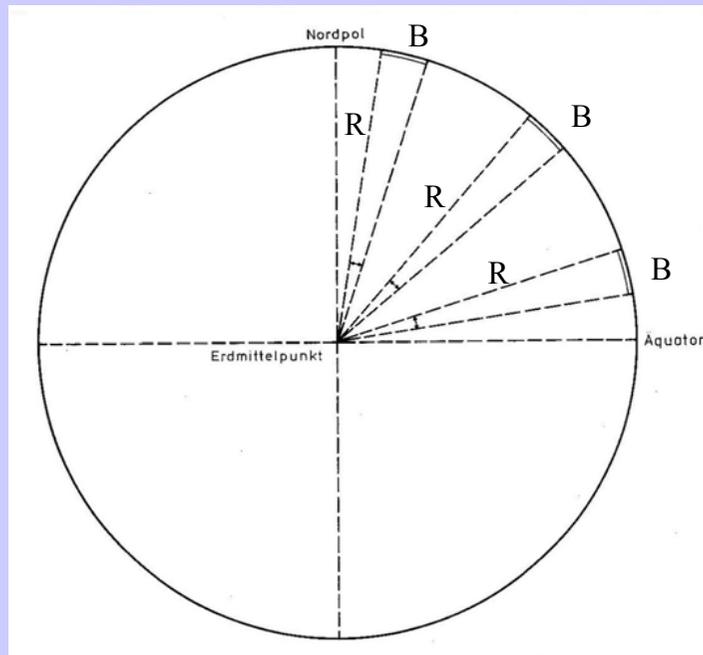
Um den Widerspruch zu *Newtons* Behauptung (Zitronen- oder Apfelsinenform) zu klären, werden durch die Pariser Akademie *zwei Expeditionen* ausgerüstet:

- 1735/44** *Peru-Gradmessung* ($3^{\circ}7'$) am Äquator in der Nähe von Quito: *Pierre Bouguer* (1698-1758, franz. Astronom, Geodät und Physiker), *Charles-Marie de La Condamine* (1701-1774, franz. Reisender, Mathematiker und Astronom) und *Louis Godin* (1704-1760); Ergebnis: 110,606 km/Grad
- 1736/37** *Lapland-Gradmessung* ($\frac{1}{2}^{\circ}$) in einer Dreieckskette unter dem Polarkreis entlang des Flusses Torneo: Winkelmessungen mit *Quadranten* *Pierre-Louis Moreau de Maupertius* (1698-1759, franz. Physiker u. Mathematiker), *Alexis Claude Clairaut* (1713-1765, franz. Mathematiker, Astronom u. Physiker) und *Anders Celsius* (1713-1744, schwed. Astronom u. Physiker); mit Meßplatten aus Holz und Eisenkappen gemessene Basislänge: 7406 Toisen (14,434 km).
Ergebnis: 111,949 km/Grad

Die Resultate bestätigen *Newtons* Ansicht! Aber sie sind zu ungenau zur Bestimmung der Erdkrümmung.

Meridianschnitt

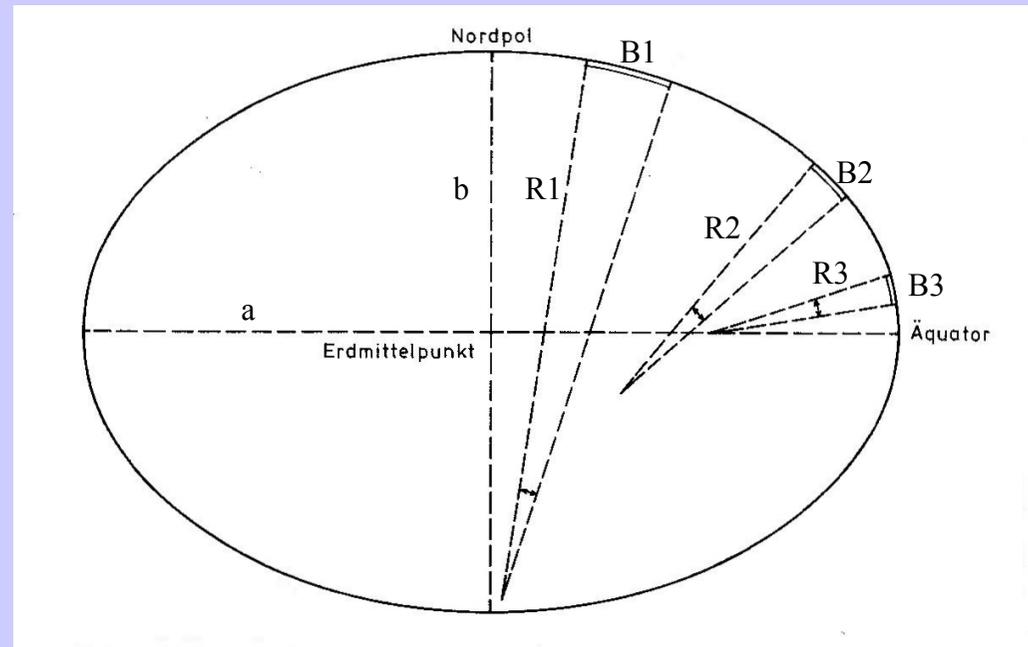
für eine Erdkugel



R – Kugelradius, B – Meridianbogen

Gleiche Zentriwinkel haben gleiche Bögen.
Begrenzungslinien treffen sich im Erdmittelpunkt.

für ein Erdellipsoid



R1, R2 u. R3 – Krümmungsradien, B1, B2 u. B3 – Meridianbögen
a, b – große und kleine Halbachse des Ellipsoids

Gleiche Zentriwinkel haben um so längere Bögen, je näher sie dem Nordpol liegen.
Begrenzungslinien treffen sich nicht im Erdmittelpunkt.

3. Historische Erkenntnisse und Gradmessungen (Fortsetzung)

1751-1753 Gradmessungen erfolgten durch **Roger Joseph Boscovich** (1711-1787) im Meridianabschnitt Rom – Rimini,
1768 durch **G. B. Beccaria** (1716-1781) in der Nähe von Turin, ferner **1762-1766** durch **J. Liesganig** (1719-1799)
in Mähren und **1769** in Ungarn: Ergebnisse liefern keine weiterführenden Erkenntnisse zur Abplattung

1792 *Französische Gradmessungen* zwischen Dünkirchen und Barcelona: Nördlicher Teil Dünkirchen - Paris
trianguliert durch **Baptiste Joseph Delambre** (1749-1822), südlicher Teil Paris – Barcelona durch **Francois
André Méchain** (1744-1804), sie werden abgeschlossen durch **Jaques und César Cassini
Thomas Colby** (1784-1852) setzte die Gradmessungen von Dünkirchen über Irland und Schottland bis zu den
Shetland-Inseln fort.

Großer franz.-engl. Meridianbogen erstreckte sich von Formentera bis Saxovord und umfaßt 22° in Breite

19. Jh.

1814 **Bernhard von Lindenau** (Direktor Seeberg-Sternwarte bei Gotha) macht **Struve** und **Tenner** den Vorschlag
einen langen Meridianbogen durch das westliche Rußland zu messen

1816-1855 *Russisch-skandinavische Breitengradmessung* durch **F. G. Wilhelm Struve** (1793-1864, dt. Astronom u.
Geodät) u. **Carl Friedrich Tenner** (1783-1859, russ. General u. Geodät), ferner **Christopher Hansteen**
(norweg. Astronom u. Geodät) und **Nils Selander** (schwed. Astronom u. Geodät): **Messung in 7 Teilstücken**,
Winkelmessung mit Theodoliten der Hersteller Reichenbach Ertel, München (Ablesegenauigkeit: 4“)
Struve-Meridianbogen von 25°20' in Breite und zugehöriger Länge von 2821,8 km , abgeleitet durch
Triangulation mit 265 Festpunkten; genaue Form des Erdkörpers entlang des Tartu-Meridian 26°43' Ost
Ergebnis: Die Länge eines Breitengrads auf der Erdoberfläche *steigt polwärts um etwa 14 m/Grad* und
bestätigt die Idee von der Erde als Rotationsellipsoid.

Im Jahre 2005 von der UNESCO in die *Liste des Weltkulturerbes* aufgenommen. Heute liegen die Stationen
in zehn Staaten: Moldawien, Ukraine, Weißrußland, Litauen, Lettland, Estland, Rußland, Finnland, Schweden
und Norwegen

3. Historische Erkenntnisse und Gradmessungen (Fortsetzung)

- 1809** *Carl Friedrich Gauß* (1777-1855, Mathematiker)
Methode der kleinsten Quadrate, 1794 von **Gauß** erstmals zur Ausgleichung von Messungen angewandt, 1809 veröffentlicht
- 1816-1820** *H. Ch. Schumacher:* *Dänischer Meridianbogen* zwischen Lauenburg und Lyssabel: 1°32′
- 1821-1823** *C. F. Gauß:* *Hannoversche Meridianbogen* zwischen Göttingen und Altona: 2° 1′
- 1830 Treffen von **J. J. Baeyer mit F. W. Bessel:** Absprache zum Projekt (Ersuchen der Kaiserl.- Russ. Regierung)
- 1831-1836** *F. W. Bessel u. J. J. Baeyer:* *Preußischer Meridianbogen* zwischen Trunz und Memel: 1°30′
- 1837-1841** *Friedrich Wilhelm Bessel* (1784-1846) Auflösung sphäroidischer Dreiecke, Dimensionen des Erdellipsoids
- 1862** Gründung der *Mitteleuropäischen Gradmessung* unter Leitung von **Johann Jacob Baeyer** (1794-1885, preußischer General, Geodät und Astronom)

Längengradmessungen

- 1811** *Colonel Brousseau:* *Längengradmessung* von der Mündung der Gironde (Atlantik) durch Frankreich über Turin und Mailand bis Fiume (Kroatien) in der Breite 45°: *Verwendung von Pulversignalen*, bestimmte Unterschiede wurden nicht aufgeklärt!
- 1818** *Französischer Parallelbogen* von Brest (Atlantik) über Paris bis Strassburg: Astronomische Längenbestimmung unzureichend genau
- 1857** *Wilhelm Struwe* hat den folgenden **Vorschlag** im Auftrage des russischen Gouvernements gemacht, daß Rußland, Preußen, Belgien und England eine *Längengradmessung in der Breite 52°* von der Ostgrenze Europas bis zur Westküste von Irland ausführen: 69 Grade der Länge, d. h. Parallelbogen von mehr als 600 Meilen zur Klärung der Frage, ob die Krümmung des Parallels einem Kreis oder einer anderen Kurve angehört. Spätere Ausdehnung bis Orsk im Ural angedacht!

Englische Gradmessungen gab es in Ostindien und am Kap der guten Hoffnung.

Vermessung des *Struve-Meridianbogens*: 7 gemessene Bogenteile

Zeitraum	Von Station bis Station	Geogr. Breite	Astronom/Geodät
1845-1850	Fuglenes/Hammerfest Kautokeino/Finmark	70°40' N 68 54	<i>Christopher Hansteen</i>
1845-1852	Kautokeino Tornea	68 54 65 50	<i>Nils Selander</i>
1830-1851	Tornea Hogland (Ostsee-Insel)	65 50 60 05	<i>F. G. Wilhelm Struwe</i>
1816-1831	Hogland Jacobstadt	60 05 56 30	<i>F. G. Wilhelm Struwe</i>
1816-1828	Jacobstadt Belin	56 30 52 03	<i>Carl Friedrich Tenner</i>
1835-1840	Belin Dnjestr (Fluß)	52 03 48 45	<i>Carl Friedrich Tenner</i>
1844-1852	Dnjestr Ismail (Donaudelta)	48 45 45 20	<i>Carl Friedrich Tenner</i>

Monumente: Meridiansäule Hammerfest, Station Ostsee-Insel Hogland, Sternwarte Tartu, Säule Rudi, Säule Stara-Nebrasivka

4. Politische Ereignisse in Europa zu Beginn des 19. Jahrhunderts

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts waren es die **Napoleonischen Kriege** bzw. die **Befreiungskriege** von 1803 bis 1815 **und der Wiener Kongreß** in 1814/1815, die *Auswirkungen in vielerlei Hinsicht* hatten.

1789-1799 **Französische Revolution:** Abschaffung des feudalabsolutistischen Staates mit *König Ludwig XVI.*
Nov. 1799 *Napoleon Bonaparte* (1769-1821) wird Erster Konsul und Oberhaupt der Französischen Republik,
ab 1804 Kaiser

Schaffung eines modernen Verwaltungsapparates im **Kaiserreich Frankreich**

Reformen bzw. Institutionen nach französischem Muster wurden auch in kleinen, Napoleon loyal gesinnten deutschen Staaten durchgeführt, nämlich Bayern, Baden, Württemberg, Nassau und Sachsen

1792-1802 1. und 2. Koalitionskrieg

1803-1815 **Napoleonische Kriege**

1812 Rußlandfeldzug

1813-1815 **Befreiungskriege**

1812-1814 Zusammenbruch des napoleonischen Staatensystems, *aber* grundlegender Einfluß der französischen Herrschaft auf die **Herausbildung des modernen Europa** blieb

1814-1815 Wiener Kongreß: Neugliederung Europas, **Preußen** erhielt im Westen erhebliche Gebietszuwächse und konnte die Rheinprovinz sowie die Provinz Westfalen errichten. Bildung einer **Konföderation** aus 39 deutschen Staaten

1815-1866 **Deutscher Bund:** Staatenbund von überwiegend deutschsprachigen Staaten, welche zuvor dem Heiligen Römischen Reich oder dem napoleonischen Rheinbund angehörten

1834-1888 **Deutscher Zollverein:** Verbindung unabhängiger Staaten miteinander zur Freihandelszone

5. Deutsche Landestriangulationen, ausgeführt im 19. Jahrhundert

Anfang des 19. Jahrhunderts wurden **Landestriangulationen ausgeführt**, um auf deren Grundlage **Grundsteuerkataster** aufzubauen und **topographische Karten** aufzunehmen.

Eine Triangulation überdeckt ein Gebiet durch ein Dreiecksnetz. Zur Festlegung des Maßstabes dient dabei eine genau gemessene Basis.

Basismessungen

Zeit	Staat/Land	Geodät	Basislänge
1819	Württemberg Basis Solitude-Ludwigsburg	<i>Johann Gottlieb F. Bohnenberger (1765-1831)</i>	13,032 km
1819	Rheinpfalz Basis Speyer-Oggersheim	<i>Johann Gottfried Tulla (1770-1828)</i>	19,794 km
1820	Rheinpfalz Kleine Speyerer Basis	<i>Friedrich Magnus Schwerd (1792-1871)</i>	0,859 km (441 Toisen)

Friedrich Magnus Schwerd: Die kleine Speyerer Basis oder Beweis, daß man mit geringem Aufwande an Zeit, Mühe und Kosten durch eine **kleine, genau gemessene Linie** die **Grundlage einer großen Triangulation** bestimmen kann. Speyer 1822

Deutsche Landestriangulationen, ausgeführt im 19. Jahrhundert

Zeitraum	Staat/Land	Geodät / 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) <i>(ohne Basismessung!)</i>	
1835-1850	Oldenburg	A. Ph. Freiherr von Schrenck (1800-1877)	
1853-1860	Nassau	Friedrich Wagner (Geometer)	
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)	

6. Praktische geodätische Arbeiten im Königreich Preußen

6. 1. Zeitabschnitt von 1817 bis 1857

1817-1820 Fortsetzung der Triangulation linksrheinischer Gebiete

Fortsetzung der unter dem *französischen Oberst Jean Joseph Tranchot (1752-1815)* begonnenen **Triangulation linksrheinischer preußischer Gebiete und Erweiterung nach Osten**, vom Rhein über die Sternwarte Seeberg (Thüringen) nach Berlin, beobachtet unter *Generalmajor C. F. F. v. Müffling (1775-1851)*

1823 **Schreiben** Sr. Excellenz des Herrn *Generals v. Müffling* an den Herausgeber über Längen-Gradmessung zwischen Dünkirchen und Seeberg. In: **Astron. Nachr.** 27 (1823) Sp. 33-38. Darin: *J. J. Baeyer* hat alle Berechnungen auf der sphärischen Erdoberfläche auf einem anderen Wege mit großer Sorgfalt ausgeführt.

Praktische geodätische Arbeiten von Johann Jacob Baeyer

1827 Leitung der Messung der **Posener Hauptdreieckskette**

1832-1836 **Gradmessung in Ostpreußen**, ausgeführt von *F. W. Bessel und J. J. Baeyer*

1835 **Nivellement zwischen Swinemünde und Berlin**, ausgeführt von *J. J. Baeyer*

6. 1. Arbeiten von 1817-1857 (Fortsetzung)

1832-1836 **Gradmessung in Ostpreußen**, ausgeführt von *F. W. Bessel und J. J. Baeyer*

1837-1840 **Ostsee-Küstenvermessung**

1842-1846 **Messung der Dreieckskette Stettin-Berlin mit Basismessung Berlin**

1852-1854 **Basismessung Strehlen in Schlesien** (Länge: 2,763 km, m. F.: $\pm 2,3$ mm)

Messung des zugehörigen Basisvergrößerungnetzes (17 Stationen)

Messung der Dreieckskette: Verbindung bei Tarnowitz (9 Stationen)

Astronomische Beobachtungen auf dem Trockenberg (bei Tarnowitz)

Messung der Weichselkette: Verbindung bei Thorn (19 Stationen)

1855-1856 **Messung der Verbindungskette nach Mecklenburg**

Im **April 1862** fand die Gründungskonferenz zur Mitteleuropäischen Gradmessung in Berlin statt.

General-Lieutenant z. D. Johann Jacob Baeyer (1794-1885), der von 1843 bis 1857 die *Trigonometrische Abteilung* im Preußischen Generalstab geleitet hatte, war der Initiator und Begründer der Mitteleuropäischen Gradmessung. Diese Konferenz gilt als Gründung zur internationalen geodätischen Zusammenarbeit in der International Association of Geodesy (IAG) mit J. J. Baeyer als der erste Präsident der IAG.

Gradmessung in Ostpreußen von 1832 bis 1836

1830 Treffen von Baeyer mit **Bessel**: Absprache zum Projekt (Ersuchen der Kaiserl.- Russ. Regierung)

1830-1836 **Gradmessung in Ostpreußen**, ausgeführt von F.W. Bessel (1784-1846) und J. J. Baeyer
Feldarbeiten mit Pferd und Wagen von 1831 bis 1834

Erkundungen (Recognoscirungen):

Dreieckskette mit den Anschlüssen

- im Westen an die Linie Trunz - Wildenhof (*Tennersche Vermessung*) und
- im Osten an Memel - Lepaizi und Lepaizi - Algeberg (*Struvesche Vermessung*)
- **Anschluß an die Sternwarte Königsberg**

Basislinie: Messung mit Besselschem Basisapparat (4 Meßstangen mit 4 Toisen Länge) in 2 Absätzen je 2fach
Länge: 935 Toisen = 1.822,35 m; Mittlerer Fehler einer Messung von 1 km Länge: $\pm 2,2$ mm

Polhöhenbestimmungen auf den Hauptpunkten Memel und Trunz sowie **Bestimmung von Meridianrichtungen**
Systematische Untersuchung der Instrumente

Winkelmessungen mit 15zölligen **Ertelschem** Theodolit (mit 8zölligem Höhenkreis)
nach Heliotropenlichtzeichen (1820 erfand **Gauß** den Heliotropen) auf **17 Stationen**

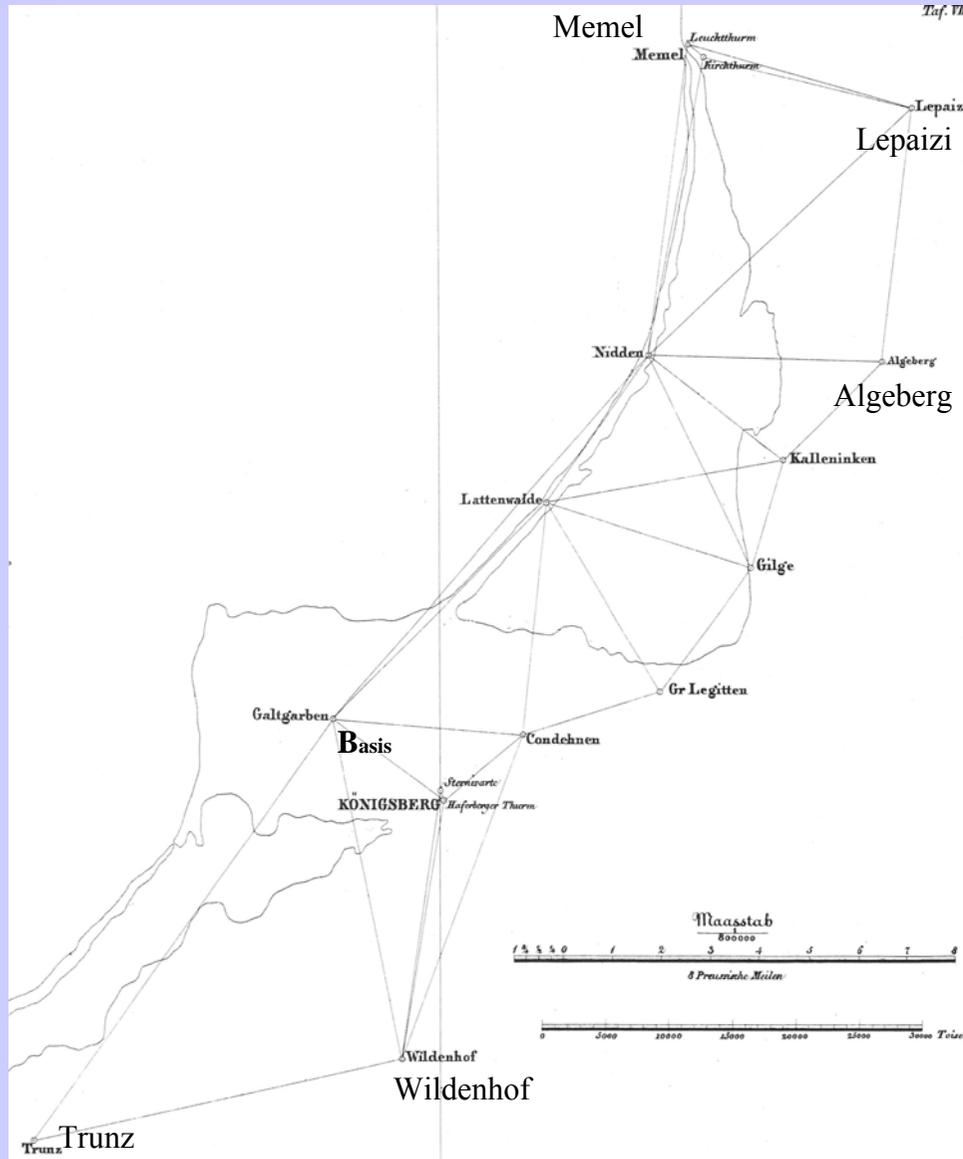
Auswertung: Methode der kleinsten Quadrate (31 Unbekannte)
(1794 von **Gauß** erstmals zur Ausgleichung von Messungen angewandt, 1809 veröffentlicht)

Entfernungen der Dreieckspunkte (mit Logarithmen)

Höhen über der Meeresoberfläche (aus Zenitdistanzmessungen)

Bestimmung der mittleren Größe der **Strahlenbrechung** (Refraktionskoeffizient $k = 0,1370$)

Gradmessung in Ostpreußen: Dreieckskette mit 17 Stationen



Stationen:

Leuchtturm Memel
 Lepaizi
 Algeberg

Anschlußseiten:

Memel - Lepaizi
 Lepaizi - Algeberg
 Trunz - Wildenhof

Kalleninken
 Nidden
 Lattenwalde
 Gilge
 Gr Legitten

Cohndehnen
Galtgarben
 Sternwarte Königsberg
 Haferberger Thurm

Abgeleitete Dreiecksseite

Trenk (Basispkt.)
Mednicken (Basispkt.)
 Fuchsberg
 Wargelitten

Basisvergrößerungsnetz

Wildenhof
 Trunz

Winkelmessung

Mittlerer Fehler eines Winkels: $\pm 0,759''$

Gradmessung in Ostpreußen: Resultate der geodätischen und astronomischen Arbeiten

Geodätischen Bestimmungen

Königsberg-Trunz, Königsberg-Memel und Trunz-Memel

- Entfernungen
- Richtungen
- Dreiecksseiten

Astronomischen Bestimmungen

Königsberg, Trunz und Memel

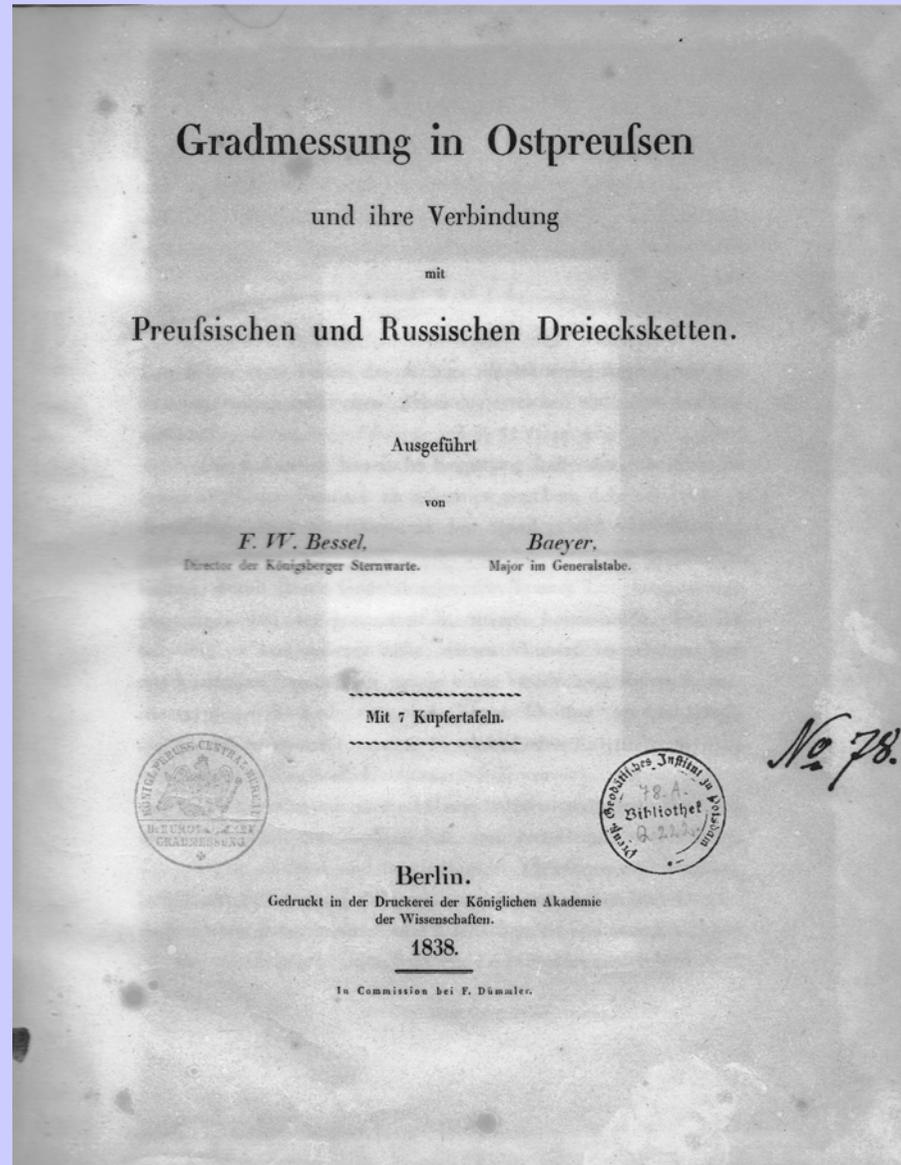
- Polhöhen
- Azimute

Vergleich der geodätischen Bestimmungen mit den astronomischen Bestimmungen

Unterschiede der Polhöhen und der Azimute, wenn fehlerfrei, von *Verschiedenheit zwischen wahrer Figur der Erde und elliptischem Rotationsellipsoid herrührend*

Bestimmung der **Entfernungen der Parallelen** Trunz-Königsberg und Königsberg-Memel und Trunz-Memel (in Toisen)

Praktische geodätische Arbeiten: 1832 - 1836 Gradmessung in Ostpreußen



Veröff. mit 452 Seiten

Weitere praktische geodätische Arbeiten von J. J. Baeyer (1)

Nachdem die Gradmessung in Ostpreußen im Jahre 1836 beendet war, wurde vom Chef des Generalstabes der Armee *General J. W. von Krauseneck* (1774-1850) angeordnet, die

Dreieckskette längs der Küste bis zur Mecklenburgischen Grenze

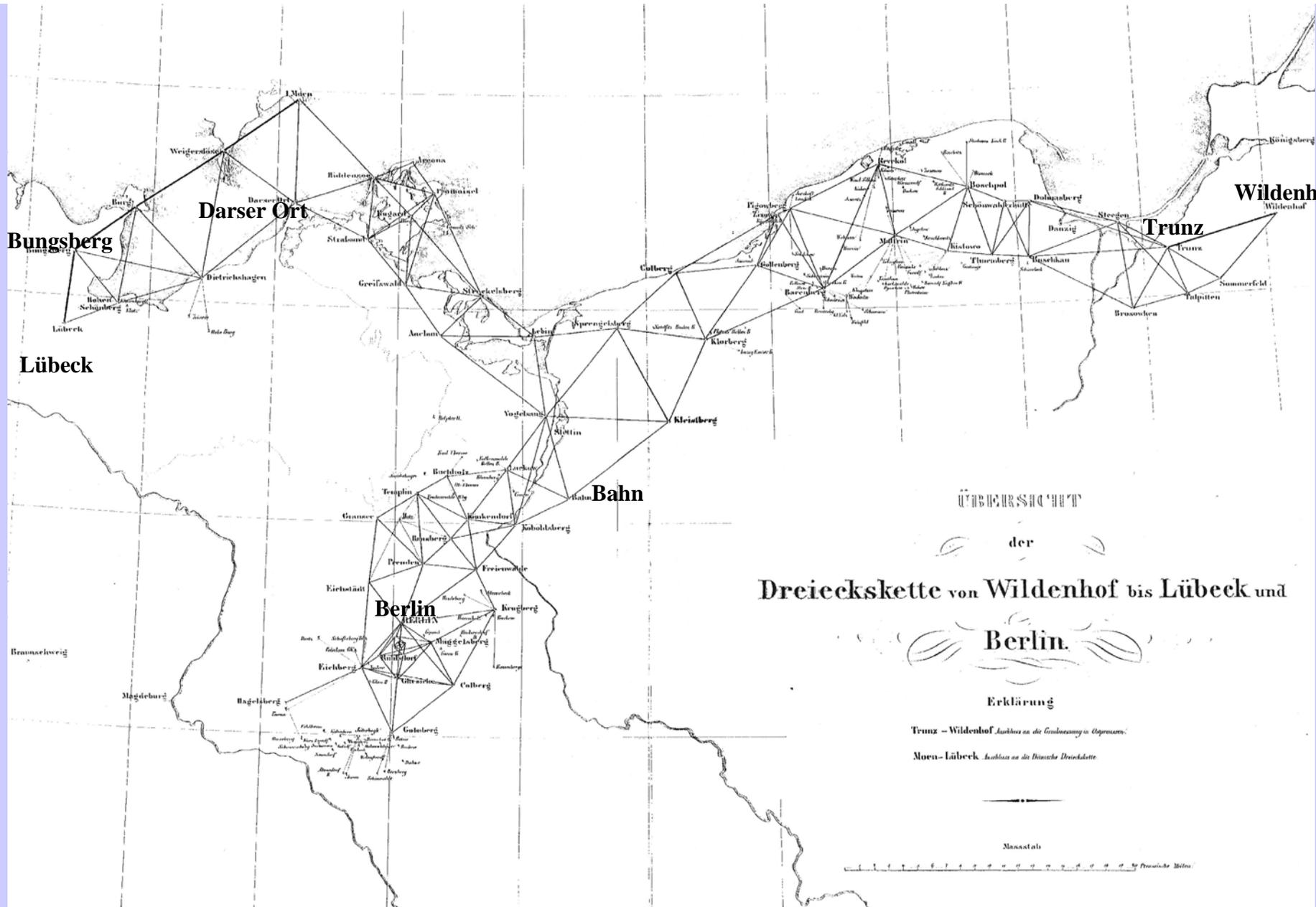
fortzuführen.

Hinzu kam von *dänischer Seite* der Vorschlag zu einer

Verbindung der Dänischen und Preußischen Dreiecksketten zwischen der Insel Rügen und Lübeck.

1837-1840 **Ostsee-Küstenvermessung**

1842-1846 **Messung der Dreieckskette Stettin-Berlin mit Basismessung Berlin**



Preußische Gradmessungsarbeiten
von J. Höpfner

Ergebnisse der Küstenvermessung

Winkelmessungen von Wildenhof bis Lübeck	34 Stationen
Winkelmessungen von Bahn bis zur Berliner Grundlinie	25 Stationen

Ausgleichung der Küstendreiecke zwischen **Wildenhof** und **Darser Ort**
Ausgleichung der Dreiecke zwischen **Bahn** und der **Berliner Grundlinie**

Berechnung der Entfernungen der Dreiecksseiten
- von der Berliner Grundlinie bis zur Seite **Trunz – Wildenhof**
- von **Lebin** bis zur Seite **Lübeck – Bungsberg**

Pegelmessungen
Mittlere Pegelstände an verschiedenen Punkten der Küste zur Bestimmung der mittleren Höhe der Ostsee

Bestimmung der Höhen und Strahlenbrechungen
- zwischen **Wildenhof** und **Gollenberg**
- von **Gollenberg** bis **Lübeck**
- von **Bahn** bis **Jüterbogk**

Azimute und geographische Positionen der Dreieckspunkte

Die
Küstenvermessung
und ihre Verbindung
mit der
Berliner Grundlinie.

Ausgeführt
von der trigonometrischen Abtheilung des Generalstabes.

Herausgegeben
von
J. J. Baeyer,
Oberst und Abtheilungs-Vorsteher im Generalstabe und Dirigent
der trigonometrischen Abtheilung.

Mit 3 Figurentafeln und einer Karte.

Berlin.
In Commission von Ferd. Dümmler's Buchhandlung.
1849.

Gedruckt bei Trowitzsch & Sohn.

Veröff. mit 584 Seiten

Weitere praktische geodätische Arbeiten von J. J. Baeyer (2)

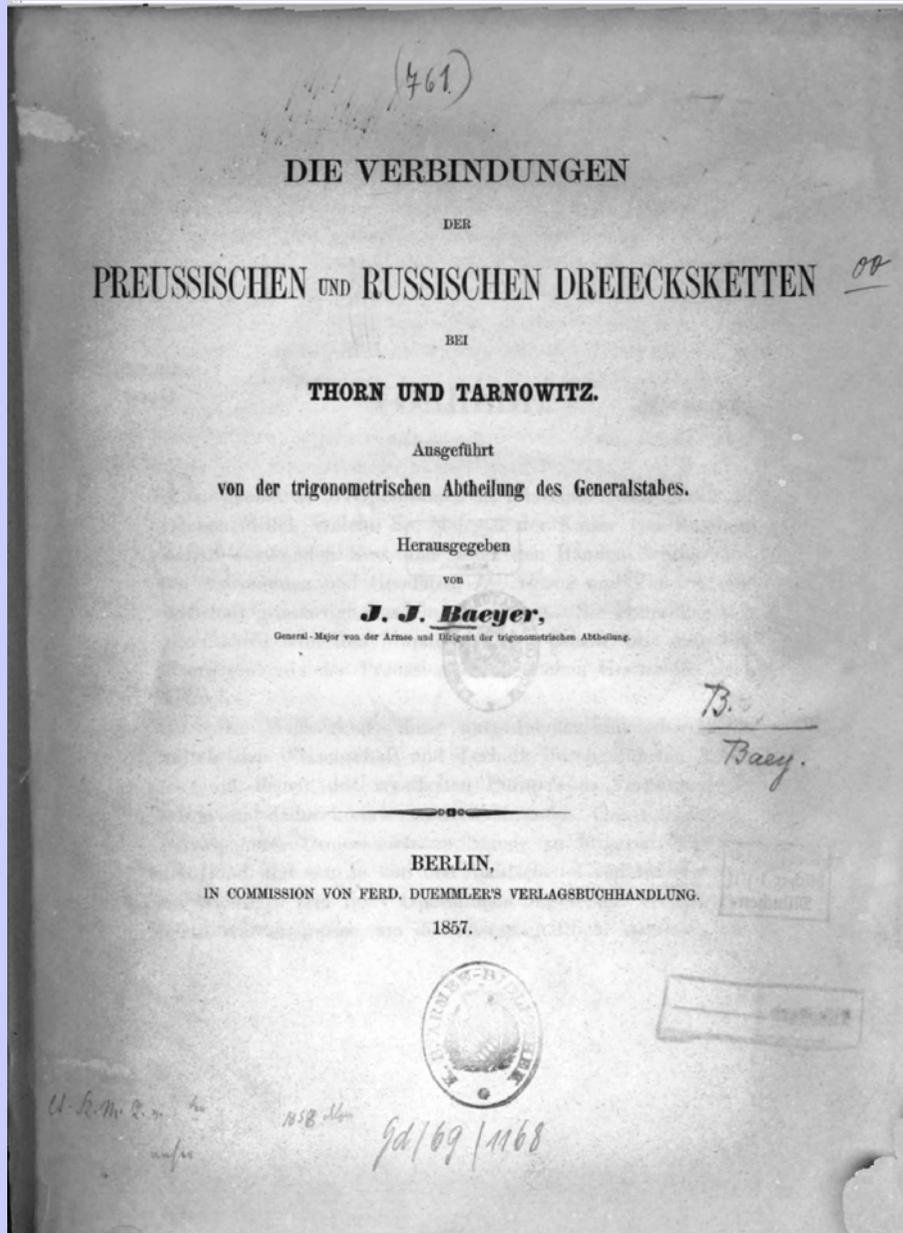
Im Jahre 1850 wurde eine **Konvention** durch *J. J. Baeyer und C. F. Tenner* auf Veranlassung von beiderseitigen höheren Behörden in Warschau **abgeschlossen**, die

Preußischen und Russischen Dreiecksketten bei Thorn und Tarnowitz

zu verbinden.

Die folgenden Arbeiten wurden ausgeführt:

- 1852-1854** **Basismessung Strehlen in Schlesien** (Länge: 2,763 km, m. F.: $\pm 2,3$ mm)
Messung des zugehörigen Basisvergrößerungnetzes (17 Stationen)
- Messung der Dreieckskette:** Verbindung bei Tarnowitz (**9 Stationen**)
Astronomische Beobachtungen auf dem Trockenberg (bei Tarnowitz)
- Messung der Weichselkette:** Verbindung bei Thorn (**19 Stationen**)
- 1855-1856** **Messung der Verbindungskette nach Mecklenburg**



Veröff. mit XVI und 442 Seiten

Basismessungen, ausgeführt mit dem Besselschen Basisapparat

Zeit	Basis	Basislänge	m. F. von 1 km
1834	Königsberg	1,822 km (935 Toisen)	$\pm 2,2$ mm
1838	Kopenhagen (Dänemark)		
1840	Upsala (Schweden)		
1846	Berlin	2,337 km (1199 Toisen)	$\pm 1,6$ mm
1847	Bonn	2,134 km (1095 Toisen)	$\pm 1,8$ mm
1851	Lommel (Belgien)		
1853	Ostende (Belgien)		
1854	Strehlen bei Breslau	2,763 km (1417 Toisen)	$\pm 2,3$ mm

m. F. = mittlerer Fehler

Die Messungen wurden in Preußen unter Leitung von J. J. Baeyer ausgeführt. Ferner wurde das Gerät ins Ausland verliehen.

6. 2. Zeitabschnitt von 1857 bis 1885

Gradmessung und Geodätisches Institut: Berliner Zeit in Privathäusern

- 1857 **Ausscheiden aus dem Generalstab:** J. J. Baeyer wird zur Disposition des Chefs des Generalstabs der preußischen Armee gestellt
- 1858 Generalleutnant z. D.
Aufsätze auf dem Gebiet Meteorologie und Astronomisch-Geodätische Beobachtungen
- 1861 **"Entwurf zu einer mitteleuropäischen Grad-Messung"** und "Ueber die Größe und Figur der Erde. Eine Denkschrift zur Begründung einer mittel-europäischen Gradmessung" **von General-Lieutenant z. D. Johann Jacob Baeyer**
- 1862 **Gründungskonferenz zur mitteleuropäischen Gradmessung in Berlin:**
Regierungsbeauftragte von Österreich, Preußen und Sachsen
- 1864 1. Allgemeine Konferenz der **mitteleuropäischen Gradmessung**
- 1866 **Präsident des Zentralbüros der Erdmessung** J. J. Baeyer
- 1867 2. Allgemeine Konferenz der **europäischen Gradmessung** (mit Frankreich, Spanien und Portugal)
- 1869 Genehmigung des Haushalts für das Geodätische Institut
Ausführung von Gradmessungsarbeiten und Bearbeitung von wissenschaftlichen Aufgaben der Geodäsie
- 1.Jan.1870 **Gründung des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts mit Sitz in Berlin:**
Präsident J. J. Baeyer
- 1885 General-Lieutenant z. D. Dr.h.c. J. J. Baeyer mit 91 Jahren verstorben
- 1886 bis 1892**
- 1.Jan.1886 Prof. Dr. **Friedrich Robert Helmert (1843-1917)** übernimmt die Funktionen Baeyers, Direktor des Geodätischen Instituts und des Zentralbüros der Erdmessung
- 1891/1892 **Umzug** des Geodätischen Instituts und Zentralbüro der Erdmessung von Berlin **nach Potsdam**

1857 bis 1861 Baeyers Arbeiten nach Ausscheiden aus dem Generalstab

Astronomisch-Geodätische Beobachtungen

Baeyer, J. J. Astronomische Bestimmungen für die Europäische Gradmessung aus den Jahren 1857-1866. Hrsg. von -. Leipzig: Verlag von Wilhelm Engelmann, 1873. 125 p.

Bestimmung des Azimuts auf der Insel **Helgoland** und auf dem **Rauenberge**, Polhöhe und Azimut der Sternwarte **Breslau**, der **Schneekoppe**, auf dem **Kleinen Fallsteine** und auf dem **Brocken** sowie auf der Station **Dangast**, Polhöhe der **Berliner Sternwarte**

Mitteleuropäische Gradmessung

Baeyer, J. J. **Entwurf zu einer Mitteleuropäischen Gradmessung**. April 1861. Als Sonderdruck. 5 p.

Ziel war es, die Landestriangulationen zu homogenisieren und zu verbinden, diese Ergebnisse geodätisch-astronomischen Lotrichtungsmessungen gegenüberzustellen und auf diese Weise ***Strukturen des Geoids zu untersuchen***.

Ueber die
Grösse und Figur der Erde.

Eine Denkschrift

zur

Begründung einer mittel-europäischen Gradmessung

nebst

einer Uebersichtskarte

von

J. J. Baejer,

Generallieutenant z. D.; auswärtigem Mitglied der Königl. schwedischen Académie des Sciences Militaires; correspondirendem Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg; Ehrenmitglied der K. K. geographischen Gesellschaft zu Wien und Mitglied mehrerer gelehrten Gesellschaften.



Berlin.

Druck und Verlag von Georg Reimer.

1861.

Veröff. mit 111 Seiten

von

J. J. Baejer,

Generallieutenant z. D.; auswärtigem Mitglied der Königl. schwedischen Académie des Sciences Militaires; correspondirendem Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg; Ehrenmitglied der K. K. geographischen Gesellschaft zu Wien und Mitglied mehrerer gelehrten Gesellschaften.

Ueber die Größe und Figur der Erde. Eine Denkschrift zur Begründung einer mittel-europäischen Gradmessung nebst einer Uebersichtskarte. Berlin: Druck und Verlag von Georg Reimer, 1861. 111 p.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Erster Abschnitt.	
Geschichtlicher Ueberblick der Operationen, welche zur Bestimmung der Grösse und Figur der Erde ausgeführt wurden.	
§. 1. Breitengradmessungen	1
§. 2. Längengradmessungen	20
§. 3. Dimensionen der Erde aus den Gradmessungen	27
§. 4. Abplattung der Erde aus den Mondgleichungen	35
§. 5. Abplattung der Erde aus Pendelbeobachtungen	38
 Zweiter Abschnitt.	
Uebersicht der Resultate, welche sich in wissenschaftlicher und in praktischer Beziehung aus den Gradmessungen entwickelt haben und sich in nächster Zukunft noch daraus entwickeln können.	
§. 6. Allmälige Entwicklung der Messkunde	46
§. 7. Gegenwärtiger Stand der europäischen Gradmessungen	67
§. 8. Fragen, welche, durch die bisherigen Gradmessungen ange- regt, den künftigen zur Lösung vorbehalten bleiben	70

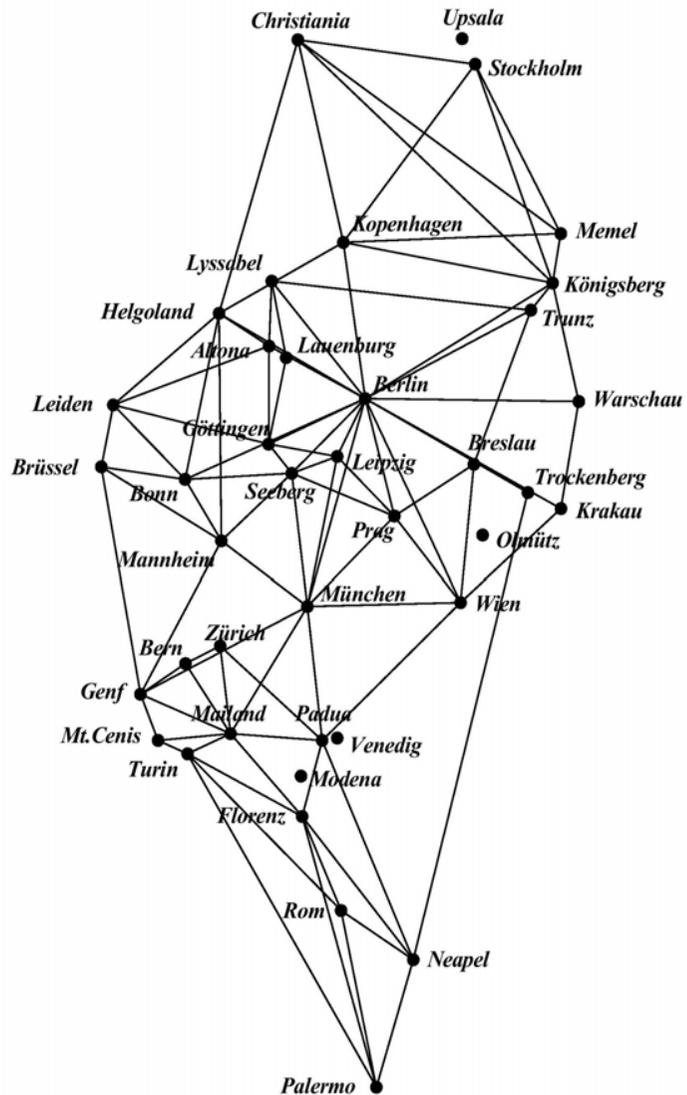
VIII Inhaltsverzeichnis.

Seite

Dritter Abschnitt.

Entwurf zu einer mittel-europäischen Gradmessung.

§. 9. Grundlagen und Entwicklung der allgemeinen Idee	77
§. 10. Feststellung der Maasseinheit	87
§. 11. Vorarbeiten. — Ausgleichung der Dreiecksketten. — Polar- Coordinaten. — Astronomische Bestimmungen	94
§. 12. Untersuchung der Krümmungsverhältnisse im Bereich der Gradmessung	101
Schluss	107



Verteilung der astronomisch bestimmten Punkte (Sternwarten und andere Punkte)

Ausdehnung der Gradmessung

Von Nord nach Süd: **21°48'**

Christiania (Oslo) – Palermo

59°55' N – 38°07' N

Von West nach Ost: **16°39'**

Brüssel – Warschau

22°02' - 38°41'

9 Polygone mit den Mittelpunkten

Kopenhagen, Berlin (2x), Altona, Prag, München, Mailand, Rom und Florenz zur Prüfung des Astronomischen Netzes

Übersicht

der *Meridianbögen* und der *Parallelbögen*, die unter verschiedenen Längengraden bzw. Polhöhen bestimmt werden können

Preußische Triangulationsarbeiten von 1867 bis 1886

1867 Beginn der Arbeiten mit 2 gleichen 10zölligen Universal-Instrumenten von Pistor & Martins, Berlin

Märkisch-Thüringisches Dreiecksnetz

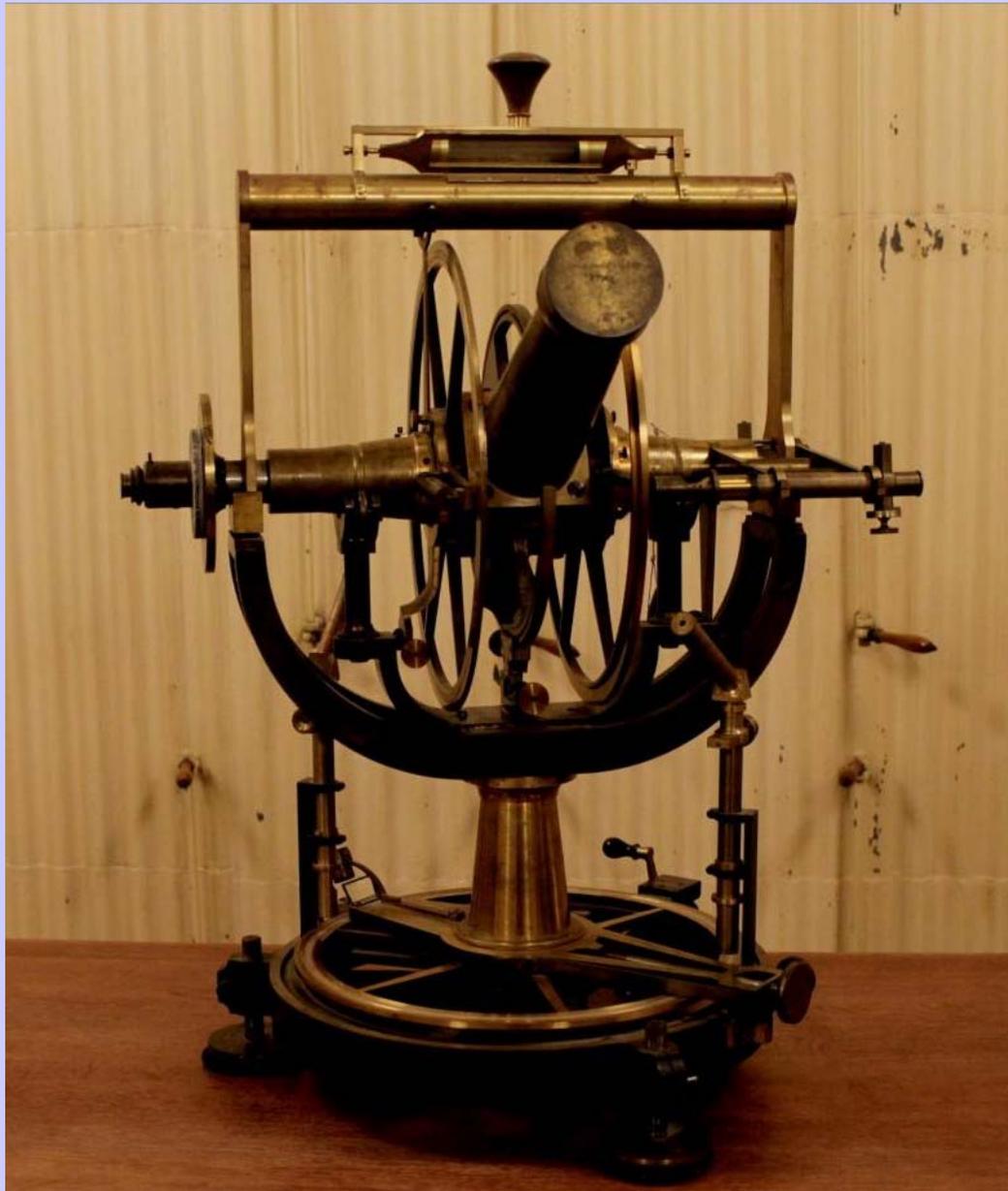
Von der Küstenvermessung bei *Berlin* ausgehend bis an die Dreiecksseiten von *Sachsen* und an die Seite *Inselsberg-Brocken* der Gaußschen Gradmessung
Das Märkisch-Thüringische Dreiecksnetz. Veröff. Kgl. Preuß. G. I., Berlin 1889. 144 p.

Hessisches Dreiecksnetz

Brocken, Inselsberg, Meissner, Herkules bei Kassel, Taufstein im Vogelsgebirge, Knüll, Milseburg, Haselohr, Hasserod, Dünsberg, Kühfeld bis zum Feldberg im Taunus
Sadebeck, M. Das Hessische Dreiecksnetz. Publ. Kgl. Preuß. G. I. Berlin 1882. VI. 230 p.
1 Kt. 6 Taf. 4°

Rheinisches Dreiecksnetz

Von der *belgisch-holländischen Grenze Rhein* aufwärts bis an das Dreieck *Wiesenberg-Röthiflugh-Lägern* der Schweizer Vermessung
Das Rheinische Dreiecksnetz. Heft I-III. Berlin 1876/82.
1876 I. Bremiker, C., 1878 II. Fischer, A., 1882 III. Fischer, A.



13zölliges Universal-Instrument von Pistor & Martins, Berlin

Technische Angaben:

Material: Messing, Bronze u. Stahl

Maße: Breite 40 cm, Höhe 80 cm

Fernrohr:

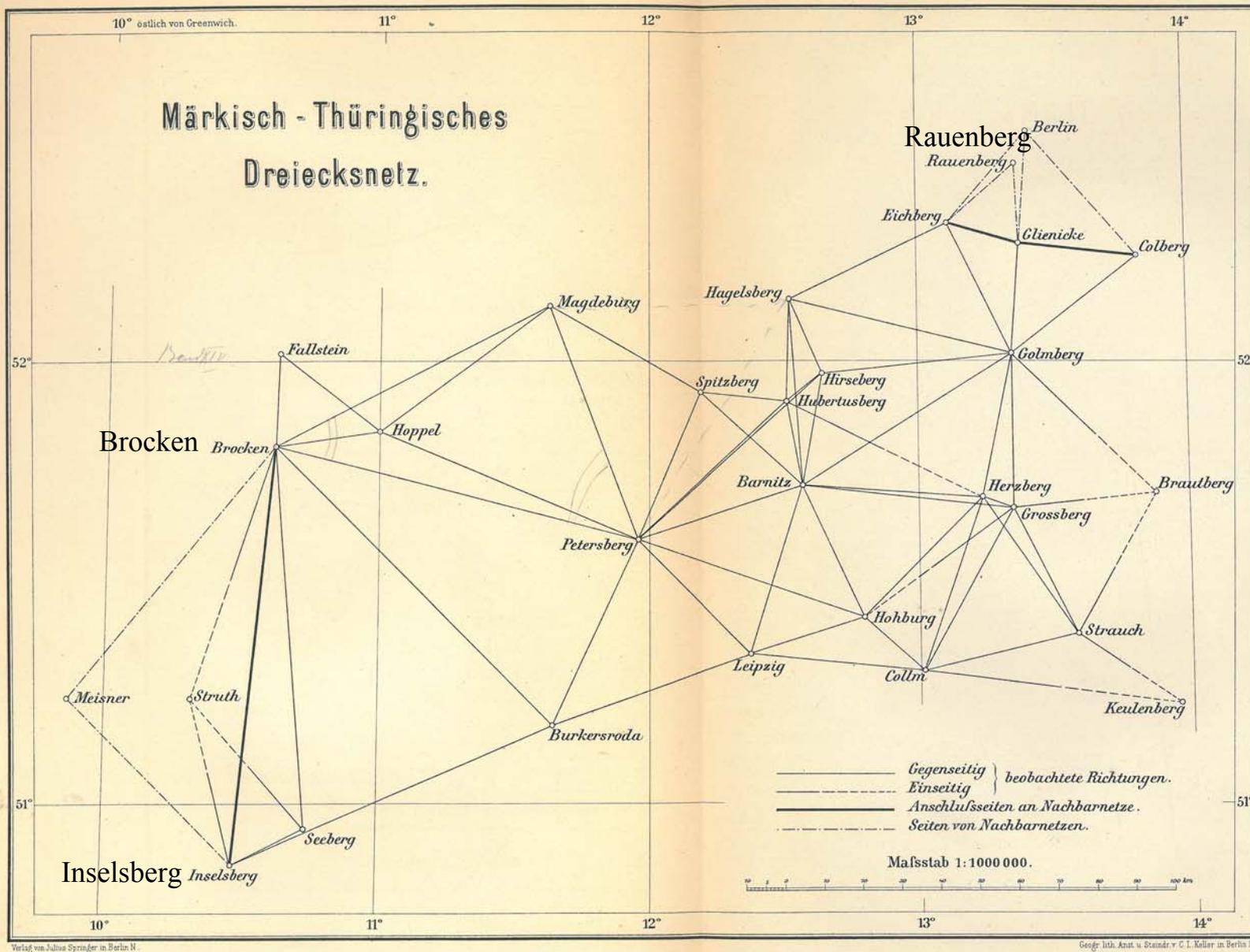
Objektivdurchmesser 60 mm,

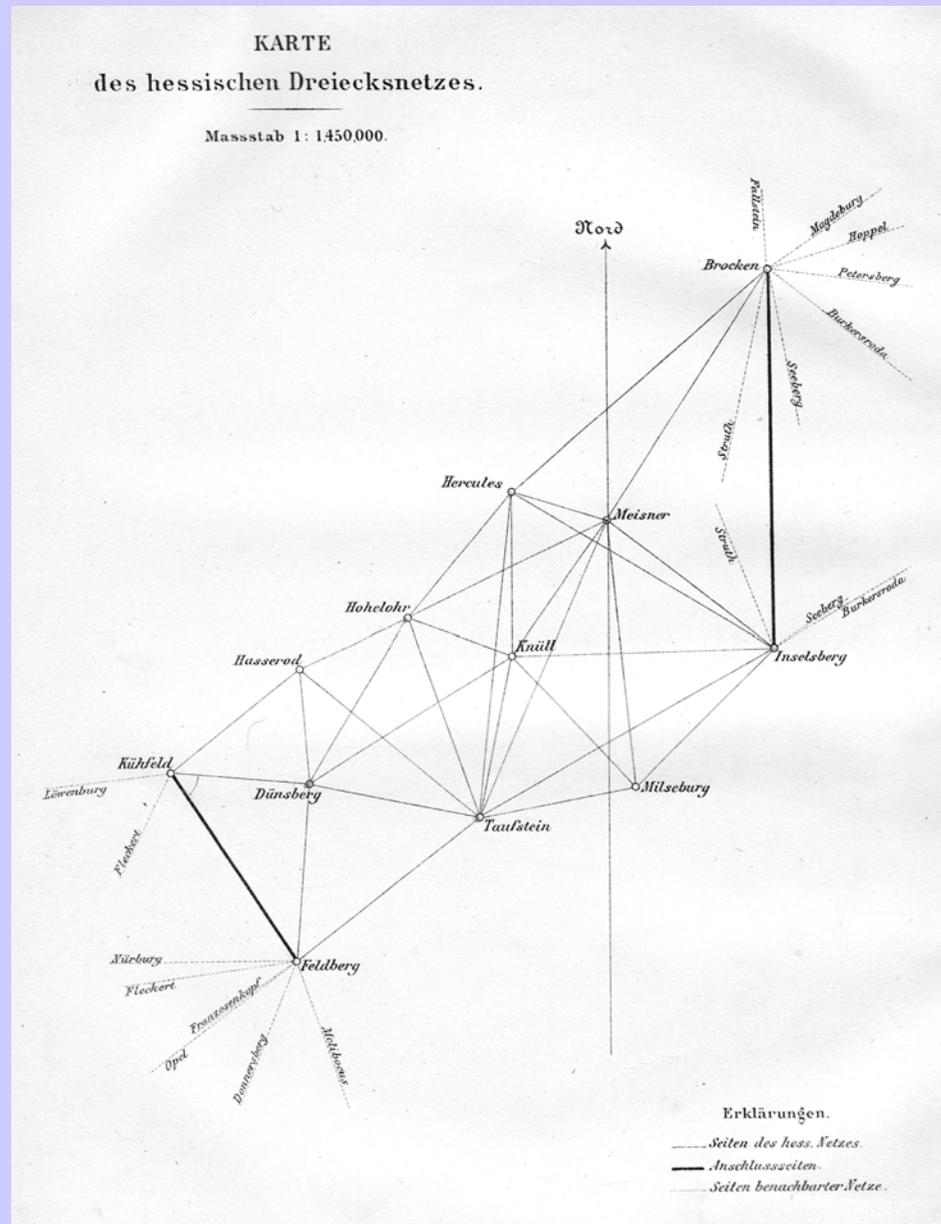
Brennweite ca. 800 mm

Meßgenauigkeit der Winkel: ca. $\pm 15''$

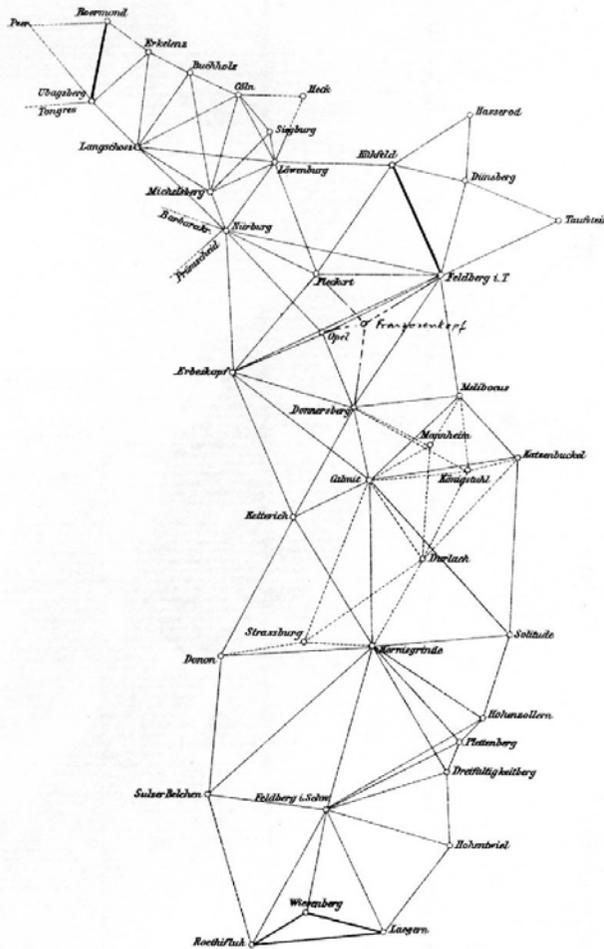
Horizontalkreis: 13 Zoll

Vertikalkreis: 13 Zoll (1 Zoll = 2,54 cm)





Preußische Gradmessungsarbeiten
von J. Höpfner



SKIZZE DER RHEINISCHEN DREIECKE
 von der Seite Roermond-Ubagsberg (Anschluss an Belgien u. Holland)
 bis zur Seite Roethifluh-Laegern (Anschluss an die Schweiz)
 Seiten des secundairen Netzes.

Dreiecksnetze, beobachtet und bearbeitet durch das Geodätische Institut Potsdam

Beob.- Zeitraum	Netz	Anzahl Punkte	Anzahl Gegensichten	Winkelgl.	Seitengl.	Winkelfehler (nach Ferrero)
1867-1877	Rhein. Netz	32	77	46	16	± 0,73“
	+ Nebennetz	36	93	58	24	
1867-1876	Hessisches N.	12	64	21	11	± 0,84“
1867-1876	Märkisch- Thüring. N.	25	55	33	16	± 0,61“

Basismessungen 1879, 1880, 1892 und 1908

Messungen mit *Basisapparat der Gebrüder Brunner, Paris*; Material der 4-m-Stangen: Platin-Iridium und Messing:

- 1879 Nachmessung der Grundlinie bei Strehlen
- 1880 Nachmessung der Grundlinie bei Berlin (als Parallelmessung): Doppelmessung mit wahrscheinl. Fehler der Länge: ±0,7 bis ±0,8 mm
- 1892 Bonner Basismessung mit *Brunnerschem und Besselschem Apparat*
- 1908 Berliner Basismessung ebenso.

Besselscher und Brunnerscher Basisapparat

Bei den Messungen mit dem *einstängigen Brunnerschen Basisapparat* werden *Mikroskope* verwendet, während es mit dem *vierstängigen Besselschen Apparat* *Meßkeile* sind. Beim Brunnerschen Apparat wird die Verbindung der Platin- mit der Messingstange und beim Besselschen Apparat die Verbindung der Eisen- mit der Zinkstange als Metallthermometer benutzt. Die durchgeführten Vergleichsmessungen mit beiden Apparaten ergaben, daß die Metallthermometer bei größeren Temperaturänderungen nicht einwandfrei funktionierten. Nach den Untersuchungen haben sich *Basismessungen mit Invardrähten* durchgesetzt.

Beobachtete Anschlüsse von Sternwarten

1833	Sternwarte Königsberg
1880	Göttingen
1884	Berlin, Breslau, Observatorium Potsdam
1888	Sternwarte Leipzig
1890	Gotha (Seeberg)
1892	Bonn

Arbeiten im Zentralbureau der Europäischen Gradmessung und im Königlich-Preußischen Geodätischen Institut unter der Leitung des Präsidenten J. J. Baeyer

Astronomisch-geodätische Arbeiten von 1869 bis 1885

Bestimmungen	Ordnung	Anzahl	Mittl. Fehler
Längenbestimmungen (telegraphisch)		28	$\pm 0,034$ s
Polhöhenbestimmungen	I.	16 (nach beiden Methoden)	$\pm 0,40''$, $\pm 0,26''$
	II.	47 (nach einer Methode)	$\pm 0,5''$
	III.	3 (informativ)	
Azimutbestimmungen	I.	11 (nach beiden Methoden)	$\pm 0,79''$, $\pm 0,56''$
	II.	16 (nach einer Methode)	$\pm 0,8''$

Bestimmung der Länge des Sekundenpendels

Anzahl Stationen: 10

Einfluß des Mitschwingens des Stativs!

Weitere Gradmessungsarbeiten

**Triangulationsarbeiten und astronomisch-geodätische Arbeiten,
ausgeführt seit 1862 durch die *Preußische Landesaufnahme***

1864-1872 Schlesisch-posensche Dreieckskette

1869 Schleswig-holsteinische Dreieckskette

1873-1874 Märkisch-schlesische Dreieckskette

Arbeiten im Königreich Sachsen

1867-1878 Triangulation durch *Prof. Christian August Nagel (1821-1903)*:
mittl. Winkelfehler von $\pm 0,35''$

Auswertung der sächsischen astronomisch-geodätischen Messungen durch
Prof. Dr. Th. Albrecht, Geodätisches Institut Potsdam

Bruhns, C., Albrecht, Th. Astronomisch-geodätische Arbeiten für die Europäische Gradmessung
im Königreiche Sachsen. Berlin 1885. 400 p.

7. Bearbeitung des Beobachtungsmaterials und erhaltene Ergebnisse

Geodätische Linien

S – kürzeste Entfernung zwischen zwei Punkten

T – nordöstl. Azimut

Komponenten der Lotabweichung

ξ - nördliche Abweichung des wahren Zenits vom ellipsoidischen

η - östliche Abweichung des wahren Zenits vom ellipsoidischen

λ - Lotabweichung in geographischer Länge: $\lambda = \eta \sec B$

Weitere verwendete Bezeichnungen:

B - nördl. geographische Breite

L - östl. geographische Länge

Zur Berechnung der Lothabweichungen ξ und λ in Breite und Länge dienen die Formeln:

$$\begin{aligned}\xi_k &= (B'_k - \bar{B}_k) + \delta B'_k + p_1 \{ (B'_i - \bar{B}_i) + \delta B'_i - \xi_i \} - p_2 \lambda_i \\ &\quad + p_3 \{ (S'_{ik} - \bar{S}_{ik}) + \delta S'_{ik} \} + p_4 \{ (T'_{ik} - \bar{T}_{ik}) + \delta T'_{ik} \} + p_5 \frac{da}{a} + p_6 da; \\ \lambda_k &= (L'_k - \bar{L}'_k) - (\bar{L}_k - \bar{L}_i) + \delta L'_k - \delta L'_i + q_1 \{ (B'_i - \bar{B}_i) + \delta B'_i - \xi_i \} - q_2 \lambda_i \\ &\quad + q_3 \{ (S'_{ik} - \bar{S}_{ik}) + \delta S'_{ik} \} + q_4 \{ (T'_{ik} - \bar{T}_{ik}) + \delta T'_{ik} \} + q_5 \frac{da}{a} + q_6 da; \\ \lambda_k &= \frac{1}{\sin B_k} \{ (T'_{ki} - \bar{T}_{ki}) + \delta T'_{ki} \} + r_1 \{ (B'_i - \bar{B}_i) + \delta B'_i - \xi_i \} - r_2 \lambda_i \\ &\quad + r_3 \{ (S'_{ik} - \bar{S}_{ik}) + \delta S'_{ik} \} + r_4 \{ (T'_{ik} - \bar{T}_{ik}) + \delta T'_{ik} \} + r_5 \frac{da}{a} + r_6 da.\end{aligned}$$

Es bezeichnen:
 δ eine Verbesserung der beobachteten Werthe B', L', S', T' ;
 $\bar{B}, \bar{L}, \bar{S}, \bar{T}$ zusammengehörige Näherungswerthe und
 m die reducirte Länge der geodätischen Linie.

Ferner ist:

$$\begin{aligned}p_1 &= -\frac{[2]_i}{[2]_k} \cos l + Gl_4, & q_1 &= -\frac{[2]_i}{[1]_k} \sin l \tan B_k + Gl_4, & r_1 &= -\frac{[9] \sin l}{\sin B_k \cos B_k} + Gl_4, \\ p_2 &= p_4 \sin B_i, & q_2 &= -1 + q_4 \sin B_i, & r_2 &= r_4 \sin B_i, \\ p_3 &= \frac{\cos T_{ki}}{[2]_k}, & q_3 &= \frac{\sin T_{ki}}{[1]_k} \sec B_k, & r_3 &= q_2, \\ p_4 &= -\frac{m \sin T_{ki}}{e'' [2]_k}, & q_4 &= \frac{m \cos T_{ki}}{e'' [1]_k} \sec B_k, & r_4 &= q_4 - \frac{1}{\sin B_k} \frac{dm}{dS} \\ &= \frac{[1]}{[2]} \sin l \cos B_i + Gl_4, & &= -\frac{p_5}{e''} \sec B_k + Gl_3, & &= \left\{ \begin{array}{l} -\frac{\cos l \cos B_i}{\sin B_k \cos B_k} \\ + \frac{e^2 b}{e''} \cos B + Gl_4 \end{array} \right\}, \\ p_5 &= -Sp_3, & q_5 &= -Sq_3, & r_5 &= q_5, \\ &= b - \frac{mn}{2e''} + e'' Gl_3, & &= l \frac{\cos B_i}{\cos B_k} + e'' Gl_3, \\ p_6 &= \left\{ \begin{array}{l} -2b \cos^2 B_m \\ + p_5 \sin^2 B_m + e'' Gl_3 \end{array} \right\}^*, & q_6 &= q_5 \sin^2 B_i + e'' Gl_3, & r_6 &= \left\{ \begin{array}{l} -\frac{nb \cos^2 B}{e'' \sin B} \\ + q_6 + e'' Gl_3 \end{array} \right\};\end{aligned}$$

$$\log [9] = -e^2 M \sin^2 B \cos^2 B,$$

$$\log m = \log S - \frac{1}{3} \frac{M}{2a^2} S^2 + Gl_4,$$

$$\log \frac{dm}{dS} = -\frac{M}{2a^2} S^2 + Gl_4,$$

$$\log \frac{e^2}{e''} = 2,510 \dots - 10,$$

$$\log \frac{1}{e''} = 4,68557 \dots - 10.$$

*) In den Coefficienten p, q und r bezeichnet B ohne Index irgend einen Werth zwischen B_i und B_k , mit Ausnahme von p_6 , wo der Mittelwerth von B_i und B_k zu nehmen ist, um die angegebene Genauigkeit zu erreichen; deshalb ist hier der Index m angebracht.

7. Bearbeitung des Beobachtungsmaterials und erhaltene Ergebnisse (Fortsetzung)

1873-1914 *Untersuchungen der Lotabweichungen in Zentraleuropa und im Harz:*
Bestimmung von Breiten, Azimuten und Längenunterschieden
Berechnung der Lotabweichungen (Unterschiede zwischen den Lotrichtungen und den entspr.
Normalenrichtungen der der Rechnung zugrunde gelegten Bezugsfläche)

Angewandte Methode zur Geoidbestimmung

1900+1901 *F. R. Helmert:* Zur Bestimmung kleiner Flächenstücke des Geoids aus Lotabweichungen
mit Rücksicht auf Lotkrümmung

Lotabweichungen in Zentraleuropa, berechnet durch schrittweise Netzausbreitung

1886	<i>Helmert, F. R.</i> Lotabweichungen. Heft I.	Netz von Norddeutschland
1902	<i>Börsch, A., Krüger, L.</i> Lotabweichungen. Heft II.	Netz südlich der Längengradmessung in 52° Breite
1906	<i>Börsch, A.</i> Lotabweichungen. Heft III.	Netz nördlich der Längengradmessung in 52° Breite
1909	<i>Börsch, A.</i> Lotabweichungen. Heft IV.	Östl. Verbindung mit dem Netz in Norddeutschland
1916	<i>Krüger, L.</i> Lotabweichungen. Heft V.	Ausgl. nördlich der Längengradmessung in 52° Breite
1889	<i>Fischer, A.</i> <i>Lotabweichungen in der Nähe von Berlin. Rauenberg-Umgebung</i>	

Die Ergebnisse zeigen, daß die Entfernungen zwischen den *Laplaceschen* Punkten meist noch viel zu groß waren, um über die Form des Geoids genauere Kenntnisse zu bekommen. Selbst im Flachland sollte der Punktabstand nur ca. 20 bis 30 km sein.

7.1. Lotabweichungen in Zentraleuropa

(I) Astronomisch-Geodätisches Netz I. Ordnung in Norddeutschland

Gang der Berechnungen

Zusammenstellung der Formeln und Tafeln

9 Linienzüge: Von Berlin aus entlang der Ostsee- und Nordseeküste sowie über Thüringen zum Mittelrhein

Laplacesche Gleichungen, Lotabweichungskomponenten von **18 Punkten**

(II) Geodätische Linien, südlich der Längengradmessung in 52° Breite

- *in der Nähe des Bonner Meridians: **Bonn bis Nice***

Astronomische Bestimmungen auf 22 Stationen

Deutsches Netz: 8 Geodätische Linien: Von Bonn bis Rigi, relative Lotabweichungen

Schweizerisches Netz: 11 Geodätische Linien und relative Lotabweichungen

Italienisches Netz: 9 Geodätische Linien und relative Lotabweichungen

- *in der Nähe des Pariser Parallels westlich von Strassburg: **Brest bis Strassburg***

Astronomische Bestimmungen auf 6 Stationen

8 Geodätische Linien und relative Lotabweichungen

- *in der Nähe des Wiener Meridians: **Schneekoppe bis Castanea***

4 Anschlüsse astronomischer Stationen

Astronomische Bestimmungen auf 9 Stationen

7 Geodätische Linien und relative Lotabweichungen

Italienisches Netz: 5 Geodätische Linien und relative Lotabweichungen

7.1. Lotabweichungen in Zentraleuropa (Fortsetzung)

(III) Astronomisch-Geodätisches Netz I. Ordnung, nördlich der Längengradmessung in 52° Breite

Astronomische Bestimmungen auf 28 Stationen

Geodätische Linien, relative Lotabweichungen und Polygongleichungen:

9 Polygone mit 36 Geodätischen Linien

(IV) Verbindung der Russisch-Skandinavischen Breitengradmessung mit dem Astronomisch-Geodätischen Netz I. Ordnung in Norddeutschland

Astronomische Bestimmungen auf 13 Stationen

Geodätische Linien, relative Lotabweichungen und Polygongleichungen:

4 Polygone mit 23 Geodätischen Linien; *Lotabweichungen von 40 Stationen*

(V) Ausgleichung des Astronomisch-Geodätischen Netzes I. Ordnung nördlich der Längengradmessung in 52° Breite

Rechengang

Ausgleichung der Bedingungsgleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate

Ergebnisse der Ausgleichung

Vergleich der Lotabweichungskomponenten der Längengradmessung mit denen der Netz-

Ausgleichung für *7 identische Laplacesche Punkte*: Bonn, Göttingen, Brocken, Leipzig,

Rauenberg, Springberg und Schönsee

7. Bearbeitung des Beobachtungsmaterials und erhaltene Ergebnisse (Fortsetzung)

7. 2. Längengradmessungen

Europäische Längengradmessung in 52° Breite

1893 *Helmert, F. R.* Die europäische Längengradmessung in 52° Breite von Greenwich bis Warschau. **I.**

1896 *Börsch, A., Krüger, L.* Die europäische Längengradmessung in 52° Breite von Greenwich bis Warschau. **II.**

Vorschlag von Wilhelm Struve: 15 Stationen von Orsk (58,5° östl. von Gr.) bis Feagmain (10°20' westl. von Gr.)

Beobachtungsmaterial: sehr inhomogen: mittl. Winkelfehler zwischen $\pm 1,79''$ im Netz von Großbritannien und $\pm 0,35''$ im Netz von Sachsen. Ausgleichung der Längengradmessung lieferte Lotabweichungsunterschiede von $0,10''$ bis $0,97''$ in Länge für *Besselsche* Erdellipsoidparameter.

Längengradmessung in 48° Breite

1923 *Galle, A.* Die Längengradmessung in 48° Breite zwischen Astrachan und Brest. Östliche Teil von Laaerberg bis Astrachan (Westlicher Teil von Brest bis Straßburg, veröffentl. in *Börsch, A., Krüger, L.* Lotabweichungen. Heft II. 1902)

Ausdehnung der französischen Messung von 1818 nach Osten: 1849-1856 Triangulation unter Leitung von *Wrontschenko* in Südwestrußland bis Astrachan

Mittlere Fehler der Dreieckswinkel der verschiedenen Netze nach *Ferrero*

Land oder Name des Netzes	Jahr der Messung	Anzahl der Dreiecke	Mittlerer Winkel-Fehler
			±
Gross-Britannien	1787—1852	476	1,79
Belgien	1851—1873	219	0,89
Preussen, Rheinisches Netz	1867—1877	73	0,73
Bonner Basisnetz	1847	27	0,76
Hessisches Netz	1865—1876	34	0,84
Hannoversch-sächsische Kette	1880—1881	21	0,47
Märkisch-schlesische Kette	1868—1872	32	0,55
Schlesische Dreieckskette	1854 u. 1878	54	0,72
Rosenthaler Netz	1862—1865	3	0,98
Anschluss bei Tarnowitz	1852	9	0,58
Küstenvermessung	1837—1846	148	0,56
Kette von 1865	1865	29	0,47
Weichselkette und Anschluss bei Thorn	1853	30	0,49
Russland, Kette von Warschau bis Rohatschew	1827—1872	84	1,00
Kette von Rohatschew bis Eletz		64	1,29
Kette von Eletz bis Wolsk		67	1,15
Kette von Wolsk bis Busuluk		38	0,95
Kette von Busuluk bis Orsk		43	0,87
Dreiecksnetz des Königreichs Sachsen	1867—1878	197	0,35

Europäische Längengradmessung in 52° Breite von Greenwich bis Warschau

(I) Hauptdreiecke und Grundlinienanschlüsse von England bis Polen

Dreiecksgruppen

Stationsmessungen

Grundlinien und ihre Anschlüsse an das Hauptnetz

(II) Geodätische Linien, Parallelbogen und Lotabweichungen zwischen Feaghmain und Warschau

Anschlüsse astronomischer Stationen an die Hauptdreiecke

Verbesserung der linearen Längen der geodätischen Linien auf internat. Meter und Grundlinien-Anschlüsse

Astronomische Bestimmungen auf **20 Stationen**

26 Geodätische Linien: Relative Lotabweichungen, Laplacesche Gleichungen und Parallelbogen

Ausgleichung der Längengradmessung

Die Längengradmessung in 48° Breite zwischen Astrachan und Brest

Grundlinien (Basislinien), Astronomische Bestimmungen, Geodätische Linien, Lotabweichungen und Parallelbogen des östlichen Teils von Laaerberg bis Astrachan

Russische und österreichische Längenbestimmungen

Astronomische Bestimmungen auf **19 Stationen**

Rumänisches Dreiecksnetz

Ostungarisches Dreiecksnetz mit Anschluß von Czernowitz und zur Lagebestimmung von Szechenyihegy

12 Geodätische Linien: Relative Lotabweichungen, Laplacesche Gleichungen und Parallelbogen

Nr.	Station	Bessels Ellipsoid		Clarkes Ellipsoid	
		ξ	λ	ξ	λ
1	Feaghmain	- 2,93	+ 2,29	- 4,15	- 10,66
2	Haverfordwest.	- 5,62	+ 8,31	- 6,38	- 1,37
0	Greenwich	- 6,24	+ 6,40	- 6,80	- 0,20
3	Rosendaël	- 4,46	+ 0,63	- 5,09	- 4,44
4	Nieuport	- 3,93	+ 0,45	- 4,51	- 4,41
5	Bonn	+ 0,26	- 5,29	- 0,37	- 7,48
6	Brocken	+ 9,27	+ 4,21	+ 9,15	+ 4,16
7	Göttingen	+ 1,06	- 3,15	+ 0,82	- 3,61
8	Leipzig	+ 0,65	+ 4,13	+ 0,32	+ 5,16
9	Grossenhain	- 1,70	- 5,13	- 2,06	- 3,37
10	Schneekoppe	+ 7,93	- 1,11	+ 7,27	+ 1,96
11	Breslau	+ 2,35	+ 3,70	+ 1,83	+ 7,58
12	Rosenthal	+ 1,58	+ 3,96	+ 1,07	+ 7,84
13	Trockenberg.	+ 1,62	- 3,14	+ 0,72	+ 1,79
14	Mirow	+ 5,35	+ 0,99	+ 4,60	+ 6,15
15	Rauenberg	+ 0,71	+ 2,82	+ 0,86	+ 4,50
16	Berlin	+ 0,34	+ 1,69	+ 0,52	+ 3,40
17	Springberg	- 5,60	- 0,40	- 5,18	+ 3,40
18	Schönsee	- 0,36	- 7,31	- 0,03	- 2,06
19	Warschau	+ 0,17	- 0,13	- 0,04	+ 6,34

Diese Zusammenstellung zeigt, dass für das Gebiet der Längengradmessung bei beiden Ellipsoiden der Anschluss in Breite gleichwerthig ist, dass aber für die Darstellung in Länge dem *Besselschen* Ellipsoid vor dem *Clarkeschen* der Vorzug gebührt. Für *Bessels* Ellipsoid ist $\sum \xi^2 = 339,2$, $\sum \lambda^2 = 320,7$, für das *Clarkesche* dagegen $\sum \xi^2 = 346,2$ und $\sum \lambda^2 = 530,6$.

Lotabweichungen für das Gebiet der Europäischen Längengradmessung in 52° Breite

Mittlere Fehler einer Lotabweichungskomponente:

$\pm 3,67''$ für *Besselsches Ellipsoid*

$\pm 3,91''$ für *Clarkesches Ellipsoid*

Radius des 52. Parallelkreises aus der Längengradmessung:

3 934 678 m \pm 173 m

Zum Vergleich:

3 934 480 m für *Besselsches Ellipsoid*

3 935 164 m für *Clarkesches Ellipsoid*

Lotabweichungen: Vergleich der Resultate für 7 identische Laplacesche Punkte

Bonn	$\xi_5 = -0,48 - 0,9960 (\delta B'_0 - \xi_0) + 0,0531 \lambda_0 - 6804 \frac{d\alpha}{a} + 607 d\alpha + \delta B'_5$			
	$\xi_5^r = -0,50 - 0,9960$	„	+ 0,0523	„ - 6792 „ + 616 „ + „
Göttingen	$\xi_4 = +0,24 - 0,9991$	„	+ 0,0291	„ - 3503 „ + 342 „ + $\delta B'_4$
	$\xi_4^r = +0,24 - 0,9990$	„	+ 0,0286	„ - 3501 „ + 349 „ + „
Brocken	$\xi_2 = +8,49 - 0,9987$	„	+ 0,0233	„ - 2467 „ + 231 „ + $\delta B'_2$
	$\xi_2^r = +8,50 - 0,9993$	„	+ 0,0230	„ - 2461 „ + 239 „ + „
Leipzig	$\xi_1 = +0,70 - 1,0002$	„	+ 0,0085	„ - 4032 „ + 566 „ + $\delta B'_1$
	$\xi_1^r = +0,70 - 1,0000$	„	+ 0,0084	„ - 4034 „ + 562 „ + „
Springberg	$\xi_{22} = -6,26 - 0,9987$	„	- 0,0277	„ + 2472 „ - 356 „ + $\delta B'_{22}$
	$\xi_{22}^r = -6,24 - 0,9988$	„	- 0,0275	„ + 2483 „ - 350 „ + „
Schönsee	$\xi_{24} = -0,94 - 0,9965$	„	- 0,0472	„ + 2062 „ - 544 „ + $\delta B'_{24}$
	$\xi_{24}^r = -0,93 - 0,9966$	„	- 0,0470	„ + 2079 „ - 533 „ + „

Lotabweichungen in Breite

Obere Zeile: im Astronomisch-geodätischen Netz,
untere Zeile: in Längengradmessung in 52° Breite

Bonn	$\lambda_5 = -7,12 + 0,1395 (\delta B'_0 - \xi_0) + 0,9570 \lambda_0 - 21699 \frac{d\alpha}{a} - 13655 d\alpha$			
	$\bar{\lambda}_5 = -7,78 + 0,1310$	„	+ 0,9620	„ - 21706 „ - 13645 „
Göttingen	$\lambda_4 = -5,98 + 0,0804$	„	+ 0,9770	„ - 12071 „ - 7597 „
	$\bar{\lambda}_4 = -6,14 + 0,0758$	„	+ 0,9811	„ - 12053 „ - 7588 „
Brocken	$\lambda_2 = +1,88 + 0,0654$	„	+ 0,9832	„ - 9756 „ - 6140 „
	$\bar{\lambda}_2 = +1,49 + 0,0595$	„	+ 0,9875	„ - 9746 „ - 6136 „
Leipzig	$\lambda_1 = +1,92 + 0,0252$	„	+ 0,9738	„ - 3487 „ - 2199 „
	$\bar{\lambda}_1 = +1,40 + 0,0184$	„	+ 0,9782	„ - 3484 „ - 2193 „
Springberg	$\lambda_{22} = -3,44 - 0,0746$	„	+ 1,0143	„ + 11917 „ + 7481 „
	$\bar{\lambda}_{22} = -3,36 - 0,0809$	„	+ 1,0173	„ + 11889 „ + 7469 „
Schönsee	$\lambda_{24} = -9,89 - 0,1287$	„	+ 1,0113	„ + 20262 „ + 12717 „
	$\bar{\lambda}_{24} = -10,32 - 0,1353$	„	+ 1,0134	„ + 20211 „ + 12696 „

Lotabweichungen in Länge

Angaben sind hier umgekehrt zu oben

Die Differenzen rühren davon her, daß die Glieder der Linienzüge durch die Ausgleichungen verschiedene Werte erhalten. Unteren im Astron.-geodät. Netz ist der Vorzug zu geben.

Zusammenstellung der Parallelbogen
in 52° Breite
für die aufeinanderfolgenden Linien zwischen Feaghmain und Warschau.

Linie	Länge des Parallelbogens in intern. Metern	Längendifferenz		A—G
		Astronom.	Geod.	
Greenwich—Feaghmain . . .	— 710 474,7 — 3634 <i>da</i>	— 10° 20' 52",19	46",58	—5",61
Greenwich—Haverfordwest .	— 340 821,3 — 2106 „	— 4 57 46,40	47,53	+1,13
Greenwich—Rosendaël . . .	+ 165 678,0 + 2090 „	+ 2 24 39,64	45,66	—6,02
Rosendaël—Nieuport	+ 23 783,65 + 371 „	+ 0 20 47,28	46,86	+0,42
Nieuport—Bonn	+ 298 109,9 + 5453 „	+ 4 20 22,74	28,39	—5,65
Bonn—Brocken	+ 241 653,3 + 3029 „	+ 3 31 17,48	8,66	+8,82
Brocken—Göttingen	— 46 253,44 — 263 „	— 0 40 32,46	24,83	—7,63
Brocken—Leipzig	+ 120 622,3 + 884 „	+ 1 45 23,78	23,61	+0,17
Leipzig—Grossenhain . . .	+ 81 160,11 + 938 „	+ 1 10 45,81	54,81	—9,00
Grossenhain—Schneekoppe .	+ 150 113,5 + 2507 „	+ 2 11 13,11	9,69	+3,42
Schneekoppe—Breslau . . .	+ 88 853,53 + 1629 „	+ 1 17 42,70	38,14	+4,56
Breslau—Rosenthal	+ 0,03 + 0 „	+ 0 0 0,36	0,00	+0,36
Breslau—Trockenberg . . .	+ 126 489,9 + 2677 „	+ 1 50 24,47	31,23	—6,76
Trockenberg—Mirow	+ 21 228,69 + 504 „	+ 0 18 36,98	32,91	+4,07
Mirow—Warschau	+ 126 614,0 + 1050 „	+ 1 50 36,61	37,73	—1,12
Leipzig—Rauenberg	+ 68 259,88 + 121 „	+ 0 59 36,37	38,52	—2,15
Rauenberg—Berlin	+ 1 837,39 — 15 „	+ 0 1 35,89	36,33	—0,44
Rauenberg—Springberg . . .	+ 223 089,9 — 3097 „	+ 3 14 53,22	55,47	—2,25
Springberg—Schönsee . . .	+ 156 802,4 — 3107 „	+ 2 16 53,70	60,36	—6,66
Schönsee—Warschau	+ 146 291,2 — 1707 „	+ 2 7 56,39	49,31	+7,08

Anmerkung. Die Glieder mit *da* geben die Aenderungen in den Längen der Parallelbogen für eine Aenderung *da* der Abplattung des Erdellipsoids gegen den *Besselschen* Werth $\alpha = 1:299,152813\dots$

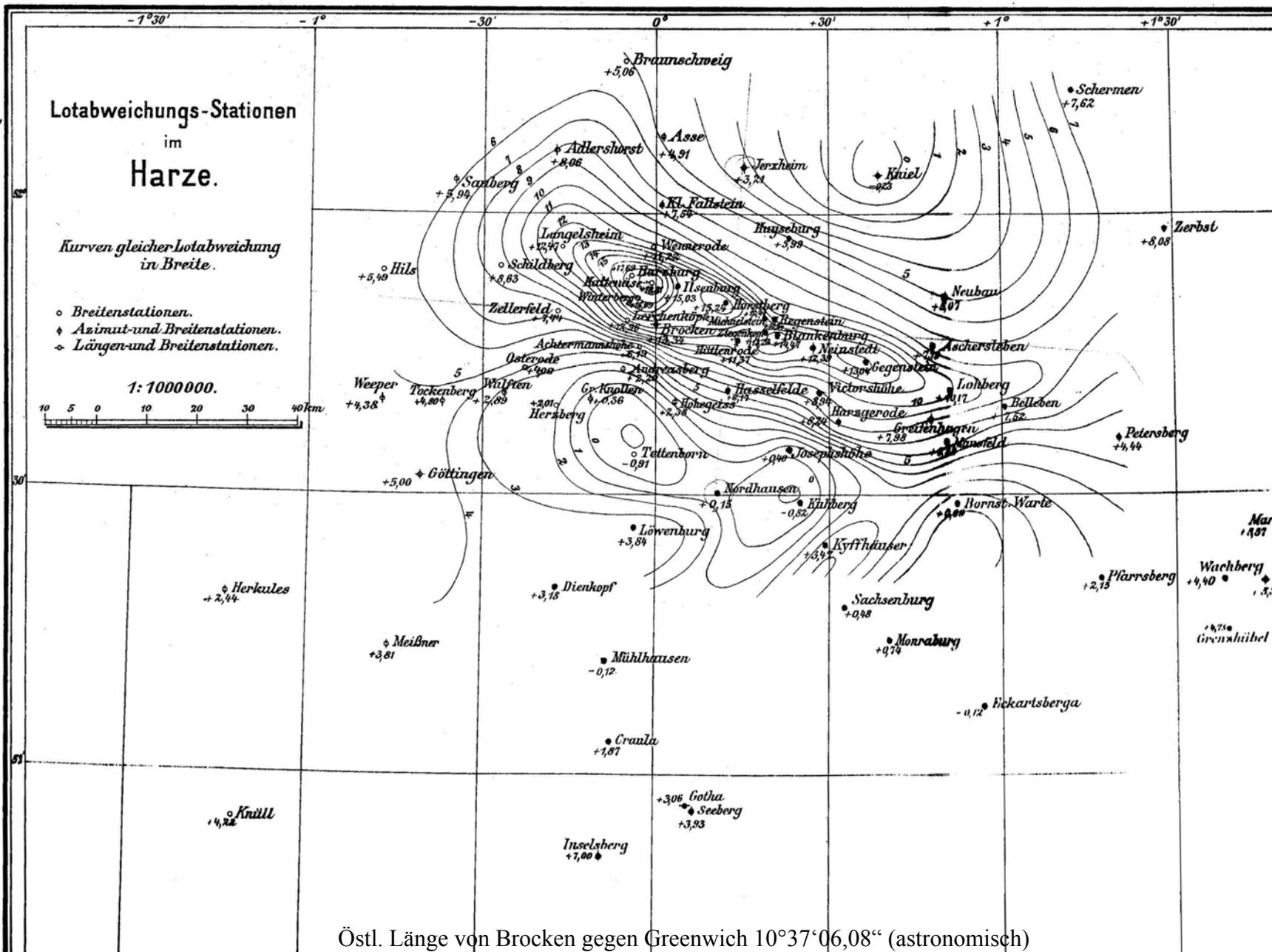
7. 3. Lotabweichungen im Harz und in seiner weiteren Umgebung

1888 *Louis Krüger (1857-1923)*: Erste Ergebnisse, Lotabweichungen und Geoidprofil im Meridian des Brockens von 47° bis 55°30' nördl. Breite

1908/1914 *Andreas Galle (1858-1943)* bearbeitete das gesamte Beobachtungsmaterial.
1908 Astronomische und geodätische Bestimmungen von Breiten, Azimuten und Längenunterschieden von 89 Stationen
Lotabweichungen im System der Europäischen Längengradmessung in 52° Breite
- Brockennetz
- Nicht zum Brockennetz gehörende Stationen

1914 *Andreas Galle: Das Geoid im Harz*
Helmerts Theorie der Geoidbestimmung
Berechnungen
- Schwerestörungen
- 11 Meridianprofile
- 2 Parallelprofile, in 52°05' und 51°40' Breite
- Geoidhöhen
Darstellung des Geoids im Harzgebiet
Krümmung des Geoids und der Lotlinien

Für die *endgültige Bearbeitung* standen 103 Breiten- und 28 Azimutbestimmungen, 5 Längenunterschiede und 84 Schweremessungen mit Pendelapparaten zur Verfügung. Ausgleichung von 7 Meridian- und 2 Parallelprofilen lieferte *Geoidhöhen der Schnittpunkte*. Genaue Kenntnisse über die Form des Geoids zu erlangen, erfordert einen enormen Aufwand



Allgemeiner Verlauf des Geoids im Harz

Norden



Abstand der Höhen-
Linien: 10 cm

Nordrand : 2,0 m

Südostecke: 4,6 m

Brocken

in der Kartenmitte,

Höhe des Geoids

bei etwa 4 m

Quelle:

*Galle, A. Das Geoid
im Harz. 1915*

8. Schlußbemerkungen

1735/44 hatten *Pierre Bouguer* und *Charles-Marie de La Condamine* bei der *Peruanischen Gradmessung* **erste Pendelbeobachtungen** ausgeführt, um die Erdabplattung herzuleiten. Neuere Gradmessungen hatten für die Abplattung 1 : 299 ergeben. Hingegen waren aus den Ergebnissen von Pendelmessungen Werte zwischen 1 : 285 und 1 : 289 erhalten worden. Deshalb wurde auf der ersten *Allgemeinen Konferenz zur Mitteleuropäischen Gradmessung 1864 in Berlin* u. a. bereits der sehr wichtige Beschluß gefaßt, an möglichst vielen astronomischen Punkten **Pendelbeobachtungen zur Bestimmung der Intensität der Schwere** anzustellen. *Das bedeutete, der Forschungsgegenstand Erde war von den Studien zur Größe und Figur derselben auf Untersuchungen der Intensität und Richtung der Schwerkraft zu erweitern.* Nachdem Ende des 19. Jahrhunderts die praktischen Arbeiten der Gradmessungen in Europa weitgehend abgeschlossen waren, lag der **neue Schwerpunkt auf Schwerebestimmungen mit Pendelapparaten.**

Es sei noch darauf hingewiesen, daß interessante *Informationen zu den Trigonometrischen Punkten I. O. Rauenberg, Müggelberg und Götz* sowie zu *Historischen Landesgrenzsteinen Brandenburg und Sachsen* in der Broschüre *Auf den Spuren der Landesvermessung in Berlin und Brandenburg* zu finden sind.

Literatur

- Albrecht, Th.* Über die Bestimmung von Längendifferenzen mit Hülfe eines electrischen Telegraphen. Diss. Leipzig 1869. 83 p.
- Albrecht, Th.* Astron.-Geodätische Arbeiten im Jahre 1875. Berlin 1876
- Albrecht, Th.* Astron.-Geodätische Arbeiten im Jahre 1876. Berlin 1877.
- Albrecht, Th.* Astron.-Geodätische Arbeiten in den Jahren 1881 und 1882. Berlin 1883.
- Albrecht, Th.* Formeln und Hülftafeln für geographische Ortsbestimmungen. 3. Aufl. Leipzig 1894
- Baeyer, J. J.* Die Küstenvermessung und ihre Verbindung mit der Berliner Grundlinie. Mit 3 Figurentafeln und einer Karte. Berlin: In Commission von Ferd. Duemmlers Verlagsbuchhandlung, 1849. 584 p.
- Baeyer, J. J.* Die Verbindungen der preußischen und russischen Dreiecksketten bei Thorn und Tarnowitz. Ausgeführt von der trigonometrischen Abtheilung des Generalstabes. Berlin: In Commission von Ferd. Duemmlers Verlagsbuchhandlung, 1857. XVI und 442 p.
- Baeyer, J. J.* Entwurf zu einer mitteleuropäischen Grad-Messung. Berlin 1861. 5 p. Nachdruck in: Zur Entstehungsgeschichte der europäischen Gradmessung. Berlin: Druck und Verlag von P. Stankiewicz' Buchdruckerei, 1882.
- Baeyer, J. J.* Ueber die Größe und Figur der Erde. Eine Denkschrift zur Begründung einer mittel-europäischen Gradmessung nebst einer Uebersichtskarte. Berlin: Druck und Verlag von Georg Reimer, 1861. 111 p.
- Bessel, F. W.; Baeyer, J. J.* Gradmessung in Ostpreußen und ihre Verbindung mit Preußischen und Russischen Dreiecksketten. Ausgeführt von F. W. Bessel, Director der Königsberger Sternwarte, und J. J. Baeyer, Major im Generalstabe. Mit 7 Tafeln. Berlin: In Commission bei F. Dümmler, 1838. 452 p.
- Bessel, F. W.* Bestimmung der Axen des ellipsoidischen Rotationssphäroids, welches den vorhandenen Messungen von Meridianbögen der Erde am meisten entspricht. *Astron. Nachr.* 14 (1837) 333, p. 333-346.
- Bessel, F. W.* Über einen Fehler in der Berechnung der französischen Gradmessung und seinen Einfluß auf die Bestimmung der Figur der Erde. *Astron. Nachr.* 19 (1841/42) 438, p. 97-116.
- Börsch, A., Börsch, O.* Verbindung der russisch-skandinavischen mit der französisch-englischen Breitengradmessung. Verh. der vom 3. bis 12. Oct. 1889 in Paris abgehaltenen 9. Allg. Conf. der Internat. Erdmessung und deren Permanenten Commiss. Berlin 1890. 5 p.
- Börsch, A., Krüger, L.* Die europäische Längengradmessung in 52° Breite von Greenwich bis Warschau. II. Heft: Geodätische Linien, Parallelbogen und Lothabweichungen zwischen Feaghmain und Warschau. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. und Centralbureau der Internat. Erdmessung. Berlin 1896. 205 p.

Literatur (Fortsetzung)

- Börsch, A.* Bericht über die Lothabweichungs-Bestimmungen 1898. Verh. der vom 3. bis 12. Oct. 1898 in Stuttgart abgehaltenen 12. Allg. Conf. der Internat. Erdmessung. Berlin 1899. Beilage A IIc. p. 257-276.
- Börsch, A., Krüger, L.* Lotabweichungen. Heft II. Geodätische Linien südlich der europäischen Längengradmessung in 52° Breite. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. N. F. Nr. 10. Berlin 1902. 204 p. 3 Taf.
- Börsch, A.* Bericht über die Lothabweichungen (1903). Verh. der vom 4. bis 13. Aug. 1903 in Kopenhagen abgehaltenen 14. Allg. Conf. der Internat. Erdmessung. II. Theil. Berlin 1905. Beilage B XVIII. p. 399-426.
- Börsch, A.* Lotabweichungen. Heft III. Astronomisch-geodätisches Netz I. Ordnung nördlich der europäische Längengradmessung in 52° Breite. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. N. F. Nr. 28. Berlin 1906. 164 p.
- Börsch, A.* Die Verbindung der preußischen und der russischen Dreiecksnetze bei Tarnowitz und die Vergleichung der Grundlinien von Strehlen und Czenstochau. Potsdam 1907. S. D. Mitt. Markscheidewes. N. F. Nr. 9. Freiberg 1908. 4 p.
- Börsch, A.* Bericht über die Lotabweichungen 1906. Verh. der vom 20. bis 28. Sept. 1906 in Budapest abgehaltenen 15. Allg. Conf. der Internat. Erdmessung. II. Theil. Berlin 1908. Annexe B IX. p. 133-161.
- Börsch, A.* Lotabweichungen. Heft IV. Verbindung der russisch-skandinavischen Breitengradmessung mit dem astronomisch-geodätischen Netz in Norddeutschland. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. N. F. Nr. 39. Berlin 1909. 102 p. 1 Taf.
- Börsch, A.* Bericht über die Lotabweichungen. Verh. der vom 21. bis 29. Sept. 1909 in London und Cambridge abgehaltenen 16. Allg. Conf. der Internat. Erdmessung. I. und II. Theil. Berlin 1910 und 1911. I: p. 107. II: Beilage B XI. p. 255-284.
- Fischer, A.* Lotabweichungen in der Nähe von Berlin. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. Berlin 1889. 155 p. 6 Taf.
- Förster, G.* Untersuchungen von Basisapparaten. II: Der Brunnersche Basisapparat. III: Der Besselsche Basisapparat. Entwurf eines neuen Stangen-Meßapparates. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. N. F. Nr. 105. Potsdam 1930. 104 p.
- Fröhlich, H.* Von Berg zu Berg - Wie Europa vermessen wurde. Selbstverlag Fröhlich, Sankt Augustin, 78 p. 140 Abb.
- Galle, A.* Lotabweichungen im Harz und in seiner weiteren Umgebung. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. N. F. Nr. 36. Potsdam 1908. 200 p. 4 Taf.
- Galle, A.* Das Geoid im Harz. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. N. F. Nr. 61. Berlin 1914. 101 p. 5 Kt. 1 Taf.
- Galle, A.* Das Geoid im Harz. Die Naturwissenschaften 3 (1915) 6. p. 72-76.
- Galle, A.* Die Längengradmessung in 48° Breite zwischen Astrachan und Brest. I. Heft: Die Grundlinien und astronomischen Bestimmungen, geodätische Linien, Lotabweichungen und Parallelbogen des östlichen Teils von Laerberg bis Astrachan. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. N. F. Nr. 88. Berlin 1923. IV und 100 p.

Literatur (Fortsetzung)

Helmert, F. R. Lothabweichungen. Heft I: Formeln und Tafeln, sowie einige numerische Ergebnisse für Norddeutschland. Der Allgemeinen Conferenz der Internationalen Erdmessung im October 1886 zu Berlin gewidmet. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. Berlin 1886. 94 p. + 26 p., 3 Taf., 3 Kt.

Helmert, F. R. Bericht über Lothabweichungen. Verh. der vom 21. bis 29. Oct. 1887 auf der Sternwarte zu Nizza abgehaltenen Conf. der Permanenten Commiss. der Internat. Erdmessung. Berlin 1888. 53 p. 2 Kt.

Helmert, F. R. Bericht über die Lothabweichungen. Verh. der vom 3. bis 12. Oct. 1889 in Paris abgehaltenen 9. Allg. Conf. der Internat. Erdmessung und deren Permanenten Commiss. Berlin 1890. Annexe VIa. 4 p.

Helmert, F. R. Bericht über die Lothabweichungen. Verh. der vom 15. bis 21. Sept. 1890 zu Freiburg i. Br. abgehaltenen Conf. der Permanenten Commiss. der Internat. Erdmessung. Berlin 1891. p. 10-14.

Helmert, F. R. Die europäische Längengradmessung in 52° Breite von Greenwich bis Warschau. I. Heft: Hauptdreiecke und Grundlinienanschlüsse von England bis Polen. Hrsg. von -. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. und Centralbureau der Internat. Erdmessung. Berlin 1893. 263 p. 2 Taf.

Helmert, F. R. Bericht über die Lothabweichungen 1892. Verh. der vom 27.09. bis 7. 10. 1892 in Brüssel abgehaltenen 10. Allg. Conf. der Internat. Erdmessung und deren Permanenten Commiss. Berlin 1893. p. 506-511.

Helmert, F. R. Bericht über die Lothabweichungs-Bestimmungen 1895. Verh. der vom 25.09. bis 12. 10. 1895 in Berlin abgehaltenen 11. Allg. Conf. der Internat. Erdmessung und deren Permanenten Commiss. Berlin 1896. Beilage A VII. p. 180-191.

Helmert, F. R. u. a. Dreiecksketten des Geodätischen Instituts. Verh. der vom 25.9. bis 12.10.1895 in Berlin abgehaltenen 11. Allg. Conf. der Internat. Erdmessung und der Permanenten Commiss. II. Theil. Berlin 1896. Annexe A III. XII, Prusse, A. p. 3-5 u. 8-13.

Helmert, F. R. Zur Bestimmung kleiner Flächenstücke des Geoids aus Lothabweichungen mit Rücksicht auf Lothkrümmung; 1. Mitteilung. Sitzungsber. der Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. zu Berlin (1900). 19 p.

Helmert, F. R. Zur Bestimmung kleiner Flächenstücke des Geoids aus Lotabweichungen mit Rücksicht auf Lotkrümmung. 2. Mitt. Sitzungsber. Kgl. Preuß. Akad. Wiss. zu Berlin 1901. phys.-math. Cl., p. 958-975.

Helmert, F. R. Über die Reduktion von Lotabweichungen auf ein höher gelegenes Niveau. (Original in: Archives Néerlandaises, Ser. II, T. VI, 1901. p. 442-447) Z. Verm.-Wes. 31 (1902) 3. p. 69-73.

Helmert, F. R. Zusatz zu einem Bericht von R. Schumann: Neue Ausgleichung der Längengradmessung in 52 Grad Breite in Europa. Verh. der vom 21. bis 29. Sept. 1909 in London und Cambridge abgehaltenen 16. Allg. Conf. der Internat. Erdmessung. I. Theil. Berlin 1910. p. 172- 173.

Literatur (Fortsetzung)

Helmert, F. R., Galle, A. Bericht über die Dreiecksmessungen. Verh. der vom 21. bis 29. Sept. 1909 in London und Cambridge abgehaltenen 16. Allg. Konf. der Internat. Erdmessung. Teil I und II. Berlin 1910 und 1911. I: p. 95-96. II: p. 68-104.

Helmert, F. R. Bericht über die Lotabweichungen. Verh. der vom 17. bis 27. Sept. 1912 in Hamburg abgehaltenen 17. Allg. Konf. der Internat. Erdmessung. I. Theil. Berlin 1913. p. 111-112.

Helmert, F. R. Die Bestimmung des Geoids im Gebiete des Harzes. Sitzungsber. Kgl. Preuß. Akad. Wiss. zu Berlin 1913. phys.-math. Cl. p. 550-560.

Helmert, F. R. Bericht über Lotabweichungen. Verh. der vom 17. bis 27. Sept. 1912 in Hamburg abgehaltenen 17. Allg. Konf. der Internat. Erdmessung. II. Theil. Berlin 1914. Beilage B X. p. 259-260.

Höpfner, J. Über die Geschichte des Geodätischen Instituts Potsdam. Übersichtsvortrag am GFZ Potsdam, 15. Okt. 2007. Siehe <http://bib.gfz-potsdam.de>

Höpfner, J. Zum Geoid und seiner Bestimmung. Potsdam 2008. Siehe <http://ebooks.gfz-potsdam.de>

Höpfner, J. Zur Gründung des Königlich-Preußischen Geodätischen Instituts. Potsdam 2008. Siehe <http://ebooks.gfz-potsdam.de>

Höpfner, J. Zeittafel über die Forschungen am Geodätischen Institut Potsdam und an den die Arbeiten weiterführenden Forschungseinrichtungen. Siehe <http://bib.gfz-potsdam.de>

Höpfner, J. Johann Jacob Baeyer – ein hervorragender Geodät des 19. Jahrhunderts. Tagung zu Fragen der wissenschaftlichen Geodäsie anlässlich des Beginns der „Mittleuropäischen Gradmessung“ vor 150 Jahren am 14. September 2012 in Berlin. Vortrag. Siehe <http://www.dvw-lvl.de>

Höpfner, J. Johann Jacob Baeyer – ein hervorragender Geodät des 19. Jahrhunderts. Tagung zu Fragen der wissenschaftlichen Geodäsie anlässlich des Beginns der „Mittleuropäischen Gradmessung“ vor 150 Jahren am 14. September 2012 in Berlin. Aufsatz. Siehe <http://leibnizsocietaet.de>

Kioscha, W. (Hrsg.) Museum für Kunst und Kulturgeschichte der Stadt Dortmund. Teil 2. Vermessungsgeschichte. Die Schausammlung Abteilung 22. 2. überarb. u. erw. Aufl. Dortmund 1989. 224 p.

Krüger, L. Beiträge zur Berechnung von Lotabweichungssystemen. Potsdam 1898. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. und Centralbureau der Internat. Erdmessung.. 106 p.

Krüger, L. Lotabweichungen. Heft V. Ausgleichung des astronomisch-geodätischen Netzes I. Ordnung nördlich der europäische Längengradmessung in 52° Breite. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. N. F. Nr. 68. Berlin 1916. VI. 134 p.

Literatur (Fortsetzung)

Kühnen, Fr. Die Neumessung der Grundlinien bei Strehlen, Berlin und Bonn. Ausgef. durch das Geod. Inst. unter Mitwirkung von R. Schumann, bearb. von -. Berlin 1897. Veröff. Kgl. Preuß. G. I. 121 p. 4 Taf.

Kupčik, I. Alte Landkarten. Von der Antike bis zum Ende des 19. Jahrhunderts. Verlag Werner Dausien, Hanau/M. 1992. 240 p.

Lemke, D. Die Vermessung der Erde. Der Struve-Meridianbogen – ein Weltkulturerbe in zehn Staaten. Sterne und Weltraum. Juni 2011, p. 42-50.

Lerbs, L. Über die Entwicklung des Geodätischen Instituts Potsdam von der Gründung 1870 bis zur Eingliederung in das Zentralinstitut für Physik der Erde 1969. Diss. bei der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam 1970

Lerbs, L., Sass, I. und Stange, A. Bibliographie der Mitarbeiter des Geodätischen Instituts 1861-1967. Arb. Geod. Inst. Potsdam (1968) 22

Sadebeck, M. Entwicklungsgang der Gradmessungs-Arbeiten und gegenwärtiger Stand der Europäischen Gradmessung. Mit einer Übersichtskarte der deutschen Gradmessungs-Arbeiten. Berlin 1876 43 p. 1 Taf.

Das Märkisch-Thüringische Dreiecksnetz. Veröff. Kgl. Preuß. G. I., Berlin 1889. 144 p.

LGB Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg / *DVW* Berlin-Brandenburg e. V. (Hrsg.) Auf den Spuren der Landesvermessung in Berlin und Brandenburg. 64 p.

