

Die astronomischen Längenbestimmungen, mit besonderer Berücksichtigung der neuern Methoden

Autor(en): **Hilfiker, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der aargauischen Naturforschenden Gesellschaft**

Band (Jahr): **3 (1882)**

PDF erstellt am: **01.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-170537>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die
astronomischen Längenbestimmungen,
mit
besonderer Berücksichtigung der neuern Methoden.

Auf Grundlage der Publicationen der Europäischen Gradmessung
dargestellt von

Dr. J. Hilfiker.

Verschiedene Rechnungen an Gradmessungsarbeiten, die ich in den Jahren 1879 und 80 auf der Leipziger Sternwarte im Auftrage des Herrn Geh. Hofrathes Prof. C. Bruhns auszuführen hatte, namentlich aber eine Ausgleichung der bis jetzt reducirten Längendifferenzen der Europäischen Gradmessung, soweit dieselben eine Controlle durch Dreiecks- oder Polygonschluß zulassen, veranlaßten mich, so ziemlich das ganze hieher gehörige Publicationsmaterial zu durchgehen und der Versuch einer Bearbeitung desselben zum Behufe einer geschichtlichen Darstellung der astronomischen Längenbestimmungen erschien mir um so gerechtfertigter, als der heutige Stand der Gradmessungsarbeiten ein abschließendes Urtheil über den Genauigkeitsgrad der einzelnen Methoden zu gewähren im Stande ist, und eine vergleichende, alle Methoden berührende Behandlung

Mittheilungen III. 1

lung des Stoffes bislang noch fehlte. Bei den telegraphischen Längenbestimmungen habe ich mich möglichst genau an die Beschlüsse der Gradmessungscommission gehalten; die übrigen benutzten Quellen sind durchwegs angegeben und es verbleibt mir nur noch, Herrn Prof. Bruhns für die vielfache Unterstützung, die er mir in dieser Arbeit hat zu Theil werden lassen, hier meinen besten Dank auszusprechen.

Leipzig, Sternwarte, 13. April 1881.

Dr. J. Hilfiker.

Breite und Länge eines Ortes bestimmen dessen Lage auf der Kugeloberfläche und sind somit fundamentale Coordinaten, deren Bestimmung innerhalb befriedigender Fehlergrenzen zu den ersten Aufgaben der Astronomie gehört. Da die Zenitdistanz eines Sternes bei seinem Durchgang durch den Meridian des Beobachtungsortes der Differenz aus der Breite des Ortes und der Declination des Sternes gleich ist, so wird bei einer bekannten Declination die erste Coordinate durch eine directe Winkelmessung bestimmt werden können und zwar mit einer Genauigkeit, die abhängig ist von der Güte des zu Gebote stehenden Instrumentes und die also mit der Vervollkommnung der Theorie und der Construction der Messapparate zunehmen muß. Ganz anders verhält es sich mit der Ableitung des Längenunterschiedes zweier Stationen, da diese Bestimmungsgröße in dem Winkel zwischen zwei Ebenen besteht, welche durch die Stationspunkte und die Erdaxe oder die Pole der Erde gelegt werden und die Längenbestimmung somit in der Ermittlung der Zeitdifferenz besteht, innerhalb deren zwei verschiedene Meridianebenen nacheinander dieselbe Lage im Raume erreichen. Das Maaß der Länge ist also die Zeit und die Methode der Bestimmung wird darin bestehen, daß der Astronom nach einem Phänomen, einem Signal sucht, das gleichzeitig an beiden Stationen beobachtet werden kann; denn die Differenz der wahren Localzeiten einer solchen Beobachtung eines und desselben physischen Mo-

mentes ist alsdann die gesuchte Längendifferenz. Je nachdem nun diese Signale durch Ereignisse am Sternhimmel sich darstellen, die theils periodisch wiederkehren und zum Voraus sich berechnen lassen, theils plötzlich auftauchen und ebenso wieder verschwinden,¹ oder aber künstlich durch den Beobachter erzeugt werden, ergeben sich die verschiedenen Methoden, die zur Ableitung von Längendifferenzen dienen können und es erhellt, daß, wie auch die einzelnen Methoden von einander abweichen mögen, die Genauigkeit des Resultates wesentlich von zwei Factoren abhängig bleibt:

- 1) Von der Bestimmung der absoluten Zeit und
- 2) von dem Grade der Schärfe, den die Signale in ihrer Beobachtung zulassen.

1) Bestimmung der Längendifferenz durch Beobachtung von Sternsignalen.

Die älteste Methode zur Bestimmung von Längendifferenzen besteht in der Beobachtung der Mondfinsternisse, indem wohl die meisten Längen der über 2500 Ortsbestimmungen des Almagest durch Beobachtung von Finsternissen abgeleitet sind.² Da der Mond bei seinem Eintritt in den Schatten der Erde sein Licht verliert, so wird der

¹ Auf die Möglichkeit, das Aufblitzen einer Sternschnuppe zu Längenbestimmungen zu benützen, macht schon 1727 G. Lynn in den Phil. Trans. aufmerksam und Benzenberg geht 1802 des nähern auf diese Methode ein. Der practischen Verwendung dieser Anregungen steht die Schwierigkeit entgegen, bei der Reduction die beobachteten Signale als wirklich gleichzeitig beobachtete zu identificiren.

² Delambre, Histoire de l'astronomie II. p. 522.

Ideler, historische Untersuchungen über die astronomischen Beobachtungen der Alten. Berlin 1806.

Anfang sowohl als das Ende der Finsterniß, sowie auch jede einzelne Phase derselben an allen Oertern der Erde, für welche der Mond über dem Horizonte ist, in demselben physischen Momente gesehen und eine solche Finsterniß bietet also wirklich ein Signal, das nach dem Obigen zur Lösung unserer Aufgabe dienen kann. Die Mondfinsternisse lassen sich aber wegen des schwachen Halbschattens der Erde, der einen unbegrenzten und verwaschenen Rand hat, nicht mit hinlänglicher Genauigkeit beobachten. Wenn man auch eine größere Schärfe bei den Ein- und Austritten der Mondflecken in den Erdschatten erhält, so sind diese Beobachtungen doch noch so ungewiß, daß selbst geübte Beobachter in den Notirungen derselben Momente um mehrere Minuten voneinander abweichen können. Bedenken wir, daß die Zeitbestimmungen der Alten nur mit Hilfe der Sonnenuhren, oder von unzuverlässigen Sand- und Wasseruhren ausgeführt werden konnten, so werden uns Fehler in den Ptolomäischen Längenbestimmungen bis auf 3—4° nicht unbegreiflich erscheinen; ist ja selbst der Unterschied der beiden einzigen Oerter, wo im Alterthum eigentliche astronomische Beobachtungen angestellt worden sind, Babylon und Alexandrien, im Almagest um 6 Zeitminuten zu klein angegeben. —

Die für einen bestimmten Ort viel seltener sich ereignenden Sonnenfinsternisse haben in noch höherem Maasse wie die Mondfinsternisse das Staunen, die Bewunderung und den Schrecken der Menschen aller Zeitalter erregt, und Aufzeichnungen über derartige Erscheinungen finden sich denn auch bei den ältesten Geschichtsschreibern und Schriftstellern; eine Anwendung der Beobachtungen von Sonnenfinsternissen für Längenbestimmungen gewann man indessen erst im Jahre 1700, als Dominique Cassini aus

den Beobachtungen der Sonnenfinsterniß vom 23. Sept. 1699 die Berechnung der Länge für die Beobachtungsorte Nürnberg, Greifswald und Kiel lehrte,¹ eine Methode, die D. Cassini schon im Jahre 1661 bekannt war, gegen deren Veröffentlichung damals aber die Inquisition Einwendungen erhob. Eine bedeutende Erweiterung erfuhr die Methode bereits im Jahre 1705 durch den Sohn des Erfinders, Jakob Cassini, welcher sie ausdehnte auf Bedeckungen von Planeten und Fixsternen durch den Mond² und dadurch eine Methode schuf, die durch den Umstand, daß solche Bedeckungen sich öfter wiederholen und in der Schärfe, welcher ihre Beobachtung fähig ist, den Sonnenfinsternissen mindestens nicht nachstehen, zu den besten und sichersten zu zählen ist, die aus der Beobachtung himmlischer Signale abgeleitet werden können.

Da bei diesen Bedeckungen oder Sonnenfinsternissen die Bedeckung oder Verfinsterung abhängt von der Lage des Beobachtungsortes auf der Erdoberfläche, so stellt sich die Ableitung der Längendifferenz nicht so einfach wie bei der Beobachtung einer Mondfinsterniß; die Beobachtungszeiten sind erst unter sich vergleichbar, wenn sie alle auf einen bestimmten Ort der Erde reducirt werden. Als solchen gemeinschaftlichen Punkt wählt man denjenigen, für welchen alle aus den Tafeln für die Bewegung der

¹ Ueber eine neue Art, Sonnenfinsternisse zu beobachten. Zsch, monatl. Corresp. 1813, p. 152.

Hist. de l'acad. des Sciences de Paris. 1700, p. 103.

Weidler, Geschichte der Astronomie, p. 522.

La Lande, Bibliographie astron., p. 254.

Cassini IV, Memoire pour servir à l'histoire des sciences et à celle de l'observatoire Royal de Paris, suivis de la vie de J. D. Cassini, écrite par lui-même. Paris 1810.

² Hist. de l'acad. de Paris 1705, p. 122.

Sonne, des Mondes und der Planeten berechneten Oerter gelten, nämlich den Mittelpunkt der Erde. —

In die finsternen Zeiten des Mittelalters fallen selbstverständlich keine Bereicherungen der astronomischen Beobachtungsmethoden; selbst bei den Arabern findet sich nichts von Längenbestimmungen und bis 1668 blieb die Beobachtung von Mondfinsternissen die einzige praktische Methode für die Bestimmung von Längendifferenzen.¹ Allerdings datiren aus bedeutend früherer Zeit Versuche und Vorschläge für bessere Methoden; Regiomontan berechnete für den Mond und die Planeten zum Voraus Ephemeriden für die Zeit von 1476 bis 1506 und ermöglichte durch dieselben Amerigo Vespucci eine rohe Längenbestimmung zwischen Venezuela und Nürnberg. Vespucci sah am 23. Sept. 1499 den Mond um $7\frac{1}{2}^h$ Abends 1° , um Mitternacht dagegen $5\frac{1}{2}^\circ$ östlich von Mars, somit mußte derselbe, in einer Stunde sich um einen Grad entfernend, um $6\frac{1}{2}^h$ in Conjunction gestanden haben, während die Nürnberger Ephemeride die Conjunction auf Mitternacht angab, woraus:

Längendifferenz

$$\text{Venezuela-Nürnberg} = 12 - 16\frac{1}{2}^h = 5\frac{1}{2}^h{}^2$$

Durch diese Bestimmung hat Amerigo Vespucci eine Methode angebahnt, die für Längenmessungen zur See bis auf unsere Zeit von der größten Bedeutung geblieben ist und die im Jahre 1514 von dem Nürnberger Joh. Werner und 1524 von dem Sachsen Peter Bienewitz (Apianus) durch die Vorschläge, die Meereslänge durch Messungen

¹ Im Jahre 1668 bestimmte Cassini die Länge aus Jupiters-
trabantenverfinsterungen.

² Canovai Elogio di Amerigo Vespucci. Vergleiche auch R. Wolf,
Handbuch der Mathematik etc., II, p. 117.

der Abstände von Fixsternen vom Monde abzuleiten, in der ihr jetzt noch gebliebenen Form aufgestellt wurde.¹ Keppler und Longomontanus begnügten sich, diese Methode in ihren Schriften zu erwähnen und ein erneuerter Vorschlag von Seiten des Pariser Mathematikers Joh. Baptist Morinus² im Jahre 1634 wurde von Richelieu insoweit berücksichtigt, daß die Methode einer Commission von fünf Gelehrten zur Begutachtung unterbreitet wurde, die jedoch, entgegen einem ersten Gutachten, wegen der Unvollkommenheit der Mondtafeln auf Unbrauchbarkeit erkannte. Zu dieser Ungenauigkeit der Tafeln gesellte sich der Mangel eines geeigneten Winkelmeßinstrumentes und das Fehlen zuverlässiger Uhren, so daß der an sich guten Methode Schwierigkeiten an Schwierigkeiten entgegenstanden. Schon zu Ende des 13. Jahrhunderts besaß man Räderuhren,³ doch erst nach dem Bekanntwerden der Galiläischen Pendelgesetze konnte Huygens 1650 diesen Räderuhren einen größeren Grad von Genauigkeit verschaffen, indem er eine Verbindung derselben mit einem Pendel herstellte und tragbare Uhren erhielt man erst, nachdem Huygens und Hooke Unruhe und Spiralfeder erfunden hatten. Schon Gemma Frisius äußerte die Idee einer Längenbestimmung mittelst Zeitübertragung, doch erst 1665, also 200 Jahre später,

¹ Erst 1615, Juni 26, versuchte Baffin auf seiner Reise zur Entdeckung der nordwestlichen Durchfahrt diese Methode, fand aber so mangelhafte Resultate, daß er die übrigen Messungen dieser Art ganz verschweigt. (Schmidt, Mathem. Geographie. Göttingen 1829. I, p. 536.)

² J. Morinus, *Longitudinum terrestrium nec non cœlestium nova et hactenus optata scientia*. Paris 1634.

³ Vergleiche W. Förster, *Sammlung wissenschaftlicher Vorträge: Ueber Zeitmaße und ihre Verwaltung durch die Astronomie*. Berlin 1876.

wurde dieselbe zum ersten Male auf einer Fahrt nach Guinea mit einer Huygensschen Uhr realisirt.

Aufmunternde Preise wurden von verschiedenen Regierungen ausgesetzt, um die Uhrenmacher zu weiteren Verbesserungen und die Astronomen zur Berechnung genauerer Tafeln anzufeuern, so im Jahr 1600 ein Preis von 12000 Pia-ster durch Philip III., dann von 30,000 fl. durch die Generalstaaten von Holland und 1714 durch eine Acte des englischen Parlaments drei Preise von 10,000, 15,000 und 20,000 Pfund für den Verfertiger einer Uhr, welche nach einer Reise von 6 Monaten die Länge bis auf 1° , $\frac{2}{3}^{\circ}$ oder $\frac{1}{2}^{\circ}$ genau angibt. Die Folgen, vornehmlich dieser letzteren Parlamentsacte, waren ganz bedeutende, Uhren und Chronometer erhielten mit jedem Jahre neue Verbesserungen, bis sie endlich auf den jetzigen Stand der Vollkommenheit gelangt sind. Um den Gang der Pendeluhren von der Ausdehnung des Pendels durch die Wärme unabhängig zu machen, erfand Graham 1721 die Quecksilber-Compensation und Harrison im Jahre 1726 das Rostpendel (Zink-Eisen) und der oben erwähnte höchste Preis (20,000 Pfund) wurde 1762 John Harrison für ein Chronometer, das der gestellten Bedingung genügte, zuerkannt.¹

Als bestes Mittel für die Ableitung der Meereslängen schlug St. Pierre im Jahre 1674 dem Könige Karl II. von England die Beobachtung von Mondstrecken vor, der König forderte von einer Commission hierüber Bericht und in demselben betonte Flamsteed, daß die Methode sich practisch erst bewähren werde, wenn die Sterncataloge und Mondtafeln auf bessere Beobachtungen basirt sein würden. Daraufhin befahl Karl II. im Jahre 1675 den Bau der Sternwarte

¹ Vergl. Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879, p. 792 ff.

zu Greenwich und betraute Flamsteed mit der Leitung von Beobachtungen, die geeignet wären, die Tafeln der Bewegungen aller Himmelskörper und die Lage der Fixsterne zu berichtigen. Durch Hilfe dieser Flamsteed'schen Beobachtungen schuf Newton seine Mondtheorie, welche die Grundlage für alle späteren Arbeiten von D'Alembert, Euler, Tobias Mayer etc. bildet und im Jahre 1699 legte er der Londoner Gesellschaft der Wissenschaften ein Instrument vor, das erst 1731 und zwar als die Erfindung John Hadleys für Messungen von Mondsabständen in Gebrauch gekommen ist.

Im Jahre 1755 übergab Tobias Mayer seine ersten Mondtafeln dem englischen Admiraltätscollegium und die Beobachtungen, die Campbell auf seinen Seereisen von 1757—1759 mit einem Hadley'schen Sextanten anstellte, zeigten für diese Tabellen nach den Reductionen, die Bradley ausführte, eine genügende Genauigkeit. Einer neuen Controlle sollten die Mayer'schen Tafeln unterworfen werden durch Beobachtungen, die Maskelyne auf seiner Fahrt nach Helena zum Zwecke der Beobachtung des Vorüberganges der Venus vor der Sonnenscheibe im Jahre 1761 anzustellen hatte. Doch lagen schon früher vorzügliche Beobachtungen von Niebuhr,¹ einem Schüler von Tobias Mayer vor, die auch in der englischen Ausgabe von Mayers Mondtafeln, die im Jahre 1770 auf Anordnung und auf Kosten des Board of Longitude erschien, als Beweis der Güte derselben abgedruckt worden sind. Mayer starb im Jahre 1761 und seiner Wittve wurde von der englischen Regierung ein Preis von 5000 Pfund Sterling ausbezahlt. Um die Ver-

¹ Eine sorgfältige Reduction dieser Beobachtungen von Bürg, unter Anwendung seiner eigenen Mondtafeln, findet sich in Zach's monatl. Correspondenz, Band IV und V.

gleichung der Beobachtungen mit den Tafeln zu erleichtern, gibt der Nautical Almanac seit 1762 und die *Connaissance des temps* seit 1774 die wahren Entfernungen des Mondes von der Sonne, den helleren Planeten und neun Hauptsternen von drei zu drei Stunden im Voraus berechnet, an, und zwar für die Planeten Saturn, Jupiter, Mars und Venus und für die Sterne α Arietis, α Tauri (Aldebaran), β Geminorum (Pollux), α Leonis (Regulus), α Virginis (Spica), α Scorpii (Antares), α Aquilae (Altair), α Piscis australis (Fomalhaut) und α Pegasi (Markal). Für die Methode der Mondstrecken bestand die Hauptschwierigkeit der Rechnung in der Bewältigung der parallactischen Reductionsarbeiten; statt an zwei Orten die Distanzen des Mondes von einem Sterne zu messen, wird die Messung nur einseitig ausgeführt und zu der für die Beobachtungszeit abgeleiteten geocentrischen Distanz sucht man aus der Ephemeride diejenige Zeit des ersten Meridians, für welche dieselbe Distanz zum Voraus berechnet ist; die Differenz der beiden Zeiten gibt dann den gewünschten Längenunterschied und es ist klar, daß aus derartigen Beobachtungen die Tafelfehler nicht eliminiert werden. Um dem Seemann die Rechnung möglichst zu ersparen, haben Lacaille und Andere graphische Verfahren vorgeschlagen und zum Theil auch ausgeführt, die natürlich nur einer beschränkten Genauigkeit fähig sind; doch auch scharfe trigonometrische Lösungen wurden schon früh bekannt, nach welchen entweder aus der scheinbaren Distanz die wahre selbst oder in denen bloß deren Differenz abgeleitet wird. Für die erstere Darstellung hat Borda¹ eine vorzügliche Formel gegeben und unter den Bearbeitern der zweiten Form sind

¹ Borda, Description et usage du cercle de réflexion.

besonders Legendre und Delambre zu nennen, an die sich weiter bis auf unsere Zeit eine große Zahl von Astronomen und Mathematikern anreihen, die durch vielfache Abhandlungen und Hilfstafeln das Problem zu vereinfachen versucht haben.¹ Die Sonnen- und Mondtafeln sind seit Tobias Mayer vielfach verbessert worden,² sodaß als hauptsächlichste Fehlerquelle für diese Methode die Schwierigkeit einer genauen Distanzmessung mit kleinen Instrumenten anzusehen ist, die am geringsten für eine Distanzmessung des Mondes von der Sonne und erheblich größer für eine solche von Fixsternen wird. Die gebräuchlichsten Sextanten lassen höchstens eine Ablesung von 10" zu, zu dem wahrscheinlichen Beobachtungsfehler tritt hinzu die Unsicherheit der Instrumentalfehler und der Refraction, sodaß eine Unsicherheit in den Längenresultaten bei sonst normalen Beobachtungen bis zu einer Zeit-Minute nicht zu vermeiden ist. —

Als es Galiläi, Marius und Harriot gegen Ende des Jahres 1609, also kurz nach Erfindung des Fernrohrs, gelang, die vier Jupiterstrabanten und deren Bewegungsgesetze um den Hauptplaneten zu entdecken, ergab sich ein neues Mittel, die Länge auf ähnliche Weise wie durch Mondfinsterniß-Beobachtungen zu bestimmen, indem die Trabanten sehr häufigen Verfinsterungen unterworfen sind. Wegen der Kürze der Umlaufzeiten und da die Bahnebenen der Monde sehr wenig gegen die Jupiterbahn geneigt

¹ Bürg, Mollweide, Huber, Klügel, Mendoza, Dunthorne, Littrow, Rümker u. a. Vor allem ist auf die exakteste theoretische Behandlung dieses Problems von Bessel in *Astron. Nachr.* X., Nr. 218 und *Astron. Untersuchungen* II zu verweisen.

² Sonnentafeln: Delambre, Zach, Carlini, Hansen, Le Verrier.
Mondtafeln: Bürg, Burkhardt, Damoiseau, Hansen.

sind, treten die Trabantenverfinsterungen viel häufiger ein, als die Mondfinsternisse, deren in jedem Jahre nie mehr als zwei und zuweilen gar keine sichtbar sind, während für den ersten Trabanten, d. h. für den Jupiter am nächsten stehenden Mond durchschnittlich auf alle zwei Tage entweder ein Eintritt oder ein Austritt fällt. Da diese Ereignisse in ihrer Beobachtung eine weitaus größere Genauigkeit zulassen, als die Mondfinsternisse, so ist klar, daß vielfache Versuche gemacht wurden, Tafeln zu berechnen, um alle Beobachtungen zu Längenbestimmungen nutzbar machen zu können; doch erst Delambre gelang es unter Benutzung der La Place'schen theoretischen Arbeiten, aus den sämtlichen, ihm zu Gebote stehenden, Beobachtungen Tafeln herzustellen, welche für damalige Verhältnisse eine genügende Schärfe zu geben im Stande waren. Für genäherte Längenbestimmungen auf Landreisen ist die Methode auch heute noch sehr vortheilhaft und kann unter Berücksichtigung der von Pater Hell aufgestellten Regeln zu recht guten Resultaten führen. Diese Regeln sind: ¹

- 1) Man beobachte bloß die Verfinsterungen des ersten und zweiten Trabanten, da diese die schnellste Bewegung haben, wodurch die Zeit des Verschwindens und Hervortretens aus dem Schatten in engere Grenzen eingeschlossen wird.
- 2) Man gebrauche immer dasselbe Fernrohr, indem man mit einem stärkeren Glase den Trabanten später verschwinden und auch eher wieder hervortreten sieht.
- 3) Man nehme zur Längenbestimmung so viel Eintritte als Austritte.

¹ Ephemerides astronomicae anni 1764, p. 189.

- 4) Man wähle die Beobachtungen nicht zu nahe bei der Opposition des Jupiters, oder zur Zeit der Dämmerung, oder wenn Jupiter sich nahe am Horizont befindet.
- 5) Man wende eine große Menge correspondirender Beobachtungen an.
- 6) Man Sorge für eine genaue Zeitbestimmung.

Seit es möglich geworden ist, auf telegraphischem Wege die Länge mit der größten Genauigkeit zu bestimmen, ergibt sich eine leichte Controlle für den Genauigkeitsgrad der schon erwähnten Delambre'schen Tafeln; in neuerer Zeit werden auf größeren Sternwarten selten Beobachtungen der Jupiterstrabantenverfinsterungen ausgeführt, nur Straßburg gibt seit einer Reihe von Jahren regelmäßige Beobachtungsreihen, nach denen die Summe der Fehler, also Tafelfehler und Beobachtungsfehler im Mittel auf nahe 18^s zu stehen kommt.

Auf der See läßt sich diese Methode leider nicht anwenden, da die immerwährende Bewegung des Schiffes es dem Beobachter unmöglich macht, den Trabanten im Gesichtsfelde des Fernrohres zu erhalten, um so mehr, da zu Beobachtungen dieser Art stark vergrößernde Fernröhren, die also eine verhältnißmäßig größere Länge besitzen, angewendet werden müssen.

Die Methode der Längenbestimmung aus Sonnenfinsternissen, Sternbedeckungen und Vorübergängen der untern Planeten vor der Sonnenscheibe erhielt durch zahlreiche Studien und Untersuchungen über die Theorie der Parallaxen, unter denen namentlich die Arbeiten von Lexell, Cagnoli, La Grange, Henry, Delambre, Olbers und Littrow hervorzuheben sind, bedeutende Vereinfachungen und auch für

dieses Problem sind die Bessel'schen Arbeiten grundlegend geworden.¹ Da die Beobachtungen Bedingungsgleichungen für die Correctionsglieder der Tafелеlemente gestatten, so hat die Methode vor den früher besprochenen einen wesentlichen Vorzug. Allerdings sind die Beobachtungen von Sternbedeckungen öfters beträchtlichen Unsicherheiten unterworfen, zumal für die Ein- und Austritte der Sterne am hellen Mondrande, die bei schwächeren Sternen überhaupt nur mit grösseren Instrumenten wahrzunehmen sind, sowie für solche Sterne, deren scheinbare Breite von der scheinbaren Breite des Mondes stark verschieden sind, oder für solche, die nicht central vom Monde bedeckt werden, sondern schief an seinem Rande eintreten, sodaß auch durch vieljährige und sorgfältige Beobachtungen keine Genauigkeit erreicht werden kann, wie sie für Gradmessungsarbeiten unbedingt erfor-

¹ Astron. Untersuchungen II, p. 95 ff.

Astron. Nachr., Nr. 151 und 152. Reduction von 6 Plejadenbedeckungen 1820—22 von Rosenberger.

Für Sternbedeckungen vergleiche auch die Abh. von: Carlini in v. Zach's monatl. Corresp. 1808.

Hansen, Astron. Nachrichten XVII, Nr. 392—395.

Als wichtigste Publicationen von Längenbestimmungen aus Sternbedeckungen sind hervorzuheben:

Hansen, Astron. Nachr., Band XVII, p. 141, Längendifferenz Berlin-Breslau aus Sternbedeckungen bis 1837. Eine Fortsetzung bis 1850 publicirte C. A. F. Klinger, Dissertatio, Vratisl.

Littrow, Astron. Nachr., Band III, p. 62, Längenbest. Greenwich—Paris—Wien.

Lejeune, Dissertatio astronomica. Längenbest. aus der Plejadenbedeckung 1841.

Peirce, Coast survey 1855—61, zahlreiche Längenbest., zum Theil für den Anschluß der Punkte der amerikanischen Küstenvermessung mit europäischen Sternwarten.

Zahlreiche Reductionen gaben Triesnecker und Wurm in Zach's monatl. Corresp. und Astron. Nachr. Vergleiche auch Wurm, Anleitung zum parallactischen Rechnen. Tübingen, 1804.

derlich ist; blieb doch nach mehr als 100jährigen derartigen Beobachtungen für Paris—Greenwich eine Unsicherheit in der Längendifferenz von mehreren Zeitsekunden.

Da wegen der schnellen Bewegung des Mondes die Sternzeit der Culmination desselben für jeden Ort der Erdoberfläche eine andere ist, so erhält man durch Meridianbeobachtungen des Mondes unter Benützung der stündlichen Rectascensionsänderung desselben eine neue Methode der Längenbestimmung. Nun ist bekannt, daß eine langsame, fortschreitende Bewegung sich viel genauer beobachten läßt als eine plötzliche Erscheinung und es gehören deshalb die Beobachtungen der Durchgänge am Passageninstrumente zu den genauesten, die man kennt. Aus diesem Grunde nehmen die Beobachtungen der Mondculminationen eine so hohe Stufe unter den Mitteln zur Bestimmung der Längenunterschiede ein; die Fehlerquellen der Parallaxe und Refraction fallen weg, die Tafelfehler in den Mondpositionen lassen sich aus den Beobachtungen selbst bestimmen und der Einfluß der Instrumentalfehler wird verringert, indem man correspondirende Beobachtungen derart anstellt, daß man nicht die Sternzeit der Culmination selbst, sondern den Zeitunterschied zwischen der Culmination des Mondes und einiger, nahe in seinem Parallel stehenden Sterne beobachtet. Der erste Vorschlag zur Benützung der Mondculminationen zu Längenbestimmungen rührt wohl von Finée¹ her; nach einer Stelle aus einem Briefe Rothmann's an Tycho Brahe dürfte schon Rothmann sich derartiger Beobachtungen zur Bestimmung der Längendifferenz Cassel-Uranienburg bedient haben; weitere Vorschläge finden wir erst 1728 bei Lead-

¹ Oronce Finée, De invenienda longitudinis differentia. Paris 1544.

better,¹ später von Bouger und Pingré² und 1769 im Nautical Almanac von Maskelyne. Der bis zum Beginne des 19. Jahrhunderts seltene Gebrauch des Passageninstrumentes mag zum großen Theile die geringe Anwendung dieser Methode verursacht haben. Die ersten practischen Versuche fallen auf England und Frankreich und als erste derartige Bestimmung in Deutschland ist die Längenmessung zu bezeichnen, die von Zach zwischen Seeberg und Mannheim ausführte.³

Erst durch eine neue Anregung von Lindenau,⁴ aber ganz besonders durch die Arbeiten von Nicolai,⁵ der auf die Verbesserung, welche die Methode durch die Beobachtung von dem Monde nahe stehenden Sternen fähig ist, aufmerksam machte, kamen diese Beobachtungen in allgemeinen Gebrauch, und mit um so besserem Erfolge, als mit Uebernahme des Berliner Jahrbuches von Encke im Jahre 1830 die Sterne, welche zur Zeit der Mondculmination auf dem Parallel des Mondes sich befinden, zum Voraus in diesem Jahrbuche bekannt gemacht wurden und als im

¹ Leadbetter, Compleat system of astronomy 1728; hier ist auch eine Anleitung zur Ableitung der Länge aus Mondhöhen gegeben.

² Bouger, *Traité de navigation*. Paris 1747.

Pingré, *Etat du ciel*. 1754.

Mackay, *Theory and practice of finding the longitude at sea or land*. London 1787.

Edw. Pigott, *Phil. Trans.* 1786, p. 409.

Bohnenberger, *geogr. Ortsbestimmung* 1795, p. 449.

³ *Berl. astron. Jahrbuch* 1795, p. 250.

Vergleiche auch Triesnecker in *Wiener Ephemeriden* 1806, p. 291.

⁴ von Lindenau, *Ueber die Zuverlässigkeit der Längenbestimmung durch Mondculminationen und Mondabstände in Zach's monatl. Corresp.* 1805, p. 216.

⁵ *Astron. Nachr.* Nr. 26 und Nr. 52.

Mittheilungen III.

Jahre 1834 Encke und der Intendant des Nautical Almanac, Stradford, sich dahin einigten, zum Behufe von Längenbestimmungen in beiden Ephemeridensammlungen denselben Catalog von Mondsternen aufzunehmen.

Es ist bekannt, daß instrumentale Verschiedenheiten, d. h. verschiedene Größen der Fernröhren, auf Durchmesserbeobachtungen von störendem Einflusse sind, der bei dieser Methode um so fühlbarer wird, da es selten erreicht werden kann, die Mondbeobachtungen auf beide Ränder gleich zu vertheilen und es sehr schwer hält, den jedem Instrumente eigenthümlichen, optischen Factor aus Beobachtungen mit hinreichender Schärfe abzuleiten. Seit in neuerer Zeit mehrere zu Gradmessungszwecken bestimmte, völlig gleich gebaute transportable Passageninstrumente zu Beobachtungen von Mondculminationen benutzt worden sind, dürfte sich ein Material bieten, dessen Bearbeitung zum Zwecke einer Discussion des Genauigkeitsgrades der in Rede stehenden Methode von besonderem Interesse sein würde; ¹ die bis jetzt bekannten Reductionen lassen indessen nicht erwarten, daß dieser Fehler in eine engere Grenze, als wie sie schon Pierce gefunden hat und die er auf 1 Zeitsecunde angibt, ² gebracht werden kann. —

Viel genauerer Resultate ist die Methode der Längenbestimmung durch directe Uebertragung der Zeit, mittelst

¹ Mit einer solchen Studie ist der Verfasser dieser Schrift beschäftigt.

² Report of the Superintendent of the U. S. Coast Survey for 1854. Appendix, p. 115. In dieser Abhandlung ist auch die jetzt gebräuchlichste Reductionsmethode mittelst einer aus sämtlichen Beobachtungen einer Lunation abgeleiteten, verbesserten Mondepemeride entwickelt.

Auf Expeditionen wurden auch Mondazimuthe, d. h. Azimuthdifferenzen zwischen Mond und hellen Fixsternen am Universalinstrument gemessen, doch kann diese Methode niemals die Beobachtung von Mondculminationen ersetzen.

Chronometer fähig; die zufälligen Fehler lassen sich verringern durch Vergrößerung der Zahl der Chronometer und die constanten Fehler, die durch den Transport der Uhren entstehen, kann man zum großen Theile aufheben, indem man die Resultate, die aus Expeditionen nach beiden Richtungen gewonnen werden, zu einem Mittel verbindet. Außerdem gestatten möglichst genaue Zeitbestimmungen aus Meridianbeobachtungen an den Hauptstationen, die gleich vor und sofort nach der Expedition angestellt werden, den während der Fahrt vorhandenen Gang nahe richtig darzustellen. Mittelst 68 Chronometer gelang es 1843 Struve, die Längendifferenz Pulkowa-Altona mit einem wahrscheinlichen Fehler von nur $0^s.039$ zu bestimmen,¹ und ebenso günstige Resultate erzielte mit derselben Methode Airy in der Bestimmung der Länge von Valentia in Irland.²

In seiner Discussion der Resultate der amerikanischen Chronometerexpeditionen zwischen Liverpool (England) und Cambridge (U. S.) in den Jahren 1849, 50, 51 und 54 macht G. P. Bond auf die Veränderungen aufmerksam, welche verschiedene Temperaturen der Chronometer auf den Gang ausüben und die besondere Vorkehrungen erfordern, um diese Störungen messen und in Rechnung bringen zu können.³

Eine sehr wesentliche Operation in der Discussion des Beobachtungsmaterials ist die Verbindung der einzelnen

¹ Expédition chronométrique exécutée par ordre de Sa Majestée l'Empereur Nicolas I. pour la détermination de la longitude géographique relative de l'observatoire central de Russie. St. Pétersbourg 1844.

² Greenwich Observations of 1845, Appendix.

³ Report of the Superintendent of the U. S. Coast Survey for 1854, Appendix 42; for 1856, p. 182.

Uhrvergleichen untereinander und die Ableitung der Gewichte; eine grundlegende Abhandlung hierüber hat Gauß in *Astron. Nachr.*, Band V, p. 227 ff. gegeben.

2) Bestimmung der Längendifferenz durch Beobachtung künstlicher Lichtsignale.

Da die Bestimmung des Längenunterschiedes zweier Stationen gleichbedeutend ist mit der Ableitung der Differenz der wahren Localzeiten derselben für einen und denselben physischen Moment, so wird durch ein gleichzeitiges Beobachten künstlicher Lichtsignale unser Problem gelöst werden können, sofern die Signale eine genügende Schärfe in ihrer Beobachtung gestatten und wenn an den Beobachtungsorten eine genaue Zeitbestimmung ausgeführt werden kann. Der erste Astronom, der diese Methode zur Ausführung brachte, war Piccard, indem er im Jahre 1671 im Auftrage der Academie der Wissenschaften eine Reise nach Dänemark unternahm, um auf Hveen die Lage der Uranienburg Tycho Brahes zu verificiren. Auf dem astronomischen Thurme zu Kopenhagen wurde ein Feuer angezündet und die Zeit eines mehrmaligen Abblendens desselben beobachteten Piccard in Kopenhagen und Olaus Roemer nebst Villiard auf den Trümmern der Uranienburg, aus welchen Beobachtungen sich für die beiden Beobachtungsorte eine Längendifferenz von 29 Zeitsecunden ergab.¹ Für große Entfernungen müßten für solche Beobachtungen den Feuern ungemein große Dimensionen gegeben werden, denn schon für eine Entfernung von 8 geographischen

¹ Histoire de l'Acad. Royale des Sciences I, pag. 148.

Voyage d'Uranienbourg, ou observations astronomiques, faites en Dannemark par Mons. Piccard. Paris 1680.

Meilen sah Piccard ein Feuer von 3 Fuß Breite mit bloßem Auge wie einen Stern dritter Größe und im Fernrohr seines Quadranten unter einem Winkel von 3—4 Secunden.¹ Ein Abblenden eines so großen Feuers kann nicht scharf genug bewerkstelligt werden, um, wie es nöthig ist, Bruchtheile einer Secunde beobachten zu können. Nützlicher erwies sich das Beobachten von Feuerraketen, deren Platzen in der Luft eine sehr scharfe Auffassung zuläßt, die aber nur auf kleine Entfernung gesehen werden können. Im Jahre 1714 machten Whiston und Dutton² den Vorschlag, die Schiffslänge dadurch zu bestimmen, daß man längs der englischen Küste zu gewissen vorher bestimmten Stunden Kanonen losschießt, durch deren Donner die Schiffer ein Signal zu einer Uhrvergleichung und somit zu einer Längenbestimmung erhalten würden; indessen machte schon Newton auf das Unpraktische eines derartigen Vorschlages aufmerksam. Auch Condamine's Vorschlag, Längendifferenzen durch Beobachtung von Minen- und Kanonenfeuer abzuleiten, führte zu keinen günstigen Resultaten und erst Cassini de Thury und La Caille erhielten im Jahre 1740 nach vielfachen Versuchen mit Lichtsignalen, die sie sich durch Abbrennen von gewöhnlichem Schießpulver verschafften, brauchbare Werthe. Die Endpunkte der Gradmessung, die von La Caille und Cassini unter der Breite von $43^{\circ} 32'$ in den Jahren 1739 und 1740 ausgeführt worden ist, liegen nahe in demselben Parallel und sind in Länge um $1^{\circ} 53'$ von einander entfernt; der eine ist auf dem Mont St. Victoire

¹ Mémoire de l'Acad. des Sciences, depuis 1666 jusqu'à 1699, tome VII, partie I., pag. 150.

² Whiston and Dutton, A new method for discovering the longitude. London 1714.

östlich von Aix in der Provence, der andere auf St. Clair, einem Berge bei Cette am Mittelmeer. Von diesen beiden Bergen aus beobachteten Cassini bei Cette und La Caille auf St. Victoire die Lichtblitze, die auf dem Kirchdache des kleinen Marktfleckens Les Saintes Maries durch Losbrennen von 10 Pfund Schießpulver erzeugt wurden. Aus den 4 angegebenen Versuchen, die im Maximum $1\frac{1}{2}$ Zeitsecunden abweichen, kommt eine Differenz in Länge von $7^m 33^s.25$.¹ Leider ist über Einzelheiten bei diesen Operationen und namentlich auch über die Bestimmung der aus correspondirenden Sonnen- und Sternhöhen abgeleiteten Uhrstände und Gänge der im Freien aufgestellten Pendeluhren von Cassini in seiner Publication nichts weiter angeführt; jedenfalls ist eine größere Versuchsreihe angestellt worden, die aber selten brauchbare Werthe ergab und es beklagt sich denn auch Cassini über die schlechten Luftverhältnisse, die einen Aufenthalt von einem ganzen Monat auf diesen unwirthlichen Bergen nothwendig machten.

In seiner Relation de deux voyages, faits en Allemagne, Paris 1763, hat Cassini einen detaillirten Plan niedergelegt, nach welchem die Längendifferenz zwischen Paris und Wien, also für eine Entfernung von 84 geographischen Meilen, unter Benützung von 38 Zwischenstationen, auf welchen die Pulversignale beobachtet und wiederholt werden mußten, abgeleitet werden sollte; verschiedene Umstände haben die Ausführung dieses Planes vereitelt, von dem, der vielen Zwischenstationen wegen, kaum ein günstiges Resultat hätte erwartet werden können. Es ist immer mit Schwierigkeiten verbunden, so günstig gelegene Signalorte zu finden,

¹ La méridienne de l'observatoire royale de Paris, vérifié par Cassini de Thury. Paris 1744.

daß die Beobachtungspunkte nahe in eine Entfernung verlegt werden können, die nur an die Grenze gebunden ist, die durch die Kugelgestalt der Erde gegeben wird. Cassini berichtet von einem solchen Punkte, den er nach langem Suchen in Italien gefunden haben will und Baron v. Zach, der für die Verbreitung und Verbesserung der in Rede stehenden Methode sich große Verdienste erworben hat, fand im Jahre 1803 durch Signale auf dem Brocken im Harz, daß dieselben auf dem Keulenberge, so wie auch auf der Festung Wilhelmsburg auf dem Klutberge gesehen werden können, so daß durch den einen Signalpunkt Brocken ein Längenbogen von beinahe 5 Graden bestimmt werden kann.¹ Die Vorschläge v. Zach's in seinem Promemoria „Ueber die Aufnahme von Thüringen etc.“ führten zwar nicht zu der gewünschten Vermessung Thüringens, doch ging die Anregung nicht verloren, indem unter Benützung der gemachten Erfahrungen und den gegebenen Vorschriften vielfache Längenbestimmungen in Deutschland, Oesterreich und andern Ländern ausgeführt wurden, so zwischen Prag-Dresden² und Prag-Breslau³ durch Can. Aloys David, dann im Jahre 1806 zwischen den astronomischen Punkten Wienerisch Neustadt, Pressburg, Wels, Cremsmünster und Salzburg der allgemeinen Vermessung der österreichischen Monarchie unter Mayer von Heldenfeld, ausgeführt von Prof. Bürg, 1806 zwischen Amsterdam und Utrecht von Prof. van Beck Calkoen; 1822 zwischen Wien—Ofen und Wien—München,⁴ indem auf Anordnung Littrow's in jeder

¹ v. Zach, monatliche Correspondenz 1804, pag. 195 und 196.

² Längenunterschied Prag — Dresden mittelst Pulversignalen, Prag 1804.

³ Längenunterschied zwischen Prag und Breslau aus Pulversignalen auf der Riesenkuppe, Prag 1806.

⁴ Astronomische Nachrichten. Band I, p. 279.

der beiden Strecken auf zwei Punkten Signale gegeben und diese an drei Punkten, einem mittlern und den beiden Endpunkten beobachtet wurden; 1823—25 zwischen Paris, Brest, München und Marennes Fiume;¹ 1825 zwischen Greenwich und Paris durch Herschel, Sabine, Bonne und Largeteau; 1840—45 in England zwischen Valentia und Greenwich durch Airy² etc. Im Jahre 1824 konnte durch Pulversignale, die in Pausen von 10 Minuten auf dem Hornusgrunde im Baden'schen gegeben wurden, unter Mitwirkung der Astronomen Nicolai in Mannheim, Bohnenberger in Tübingen, Henry in Straßburg und Schwerd in Speier ein wichtiges Polygon geschlossen werden³ und der erreichte Genauigkeitsgrad in der Auffassung der Signale ist der Beachtung werth, indem das mittlere Fehlermaximum von 121 Doppel-Beobachtungen 0^s.6 beträgt.

Die Fehler, die bei einer solchen Messung begangen werden, theilen sich in Beobachtungsfehler beim Notiren der Signalzeiten und in Fehler, die aus unrichtigen Zeitbestimmungen entstehen. Für die Zwischenstationen fällt diese Fehlerquelle weg, falls man Uhren zur Verfügung hat, welche für die Dauer der Beobachtungen einen regelmäßigen Gang beibehalten, indem der Ausdruck für die Längendifferenz lautet:

$$l = a + (b' - b) + (c' - c) + d$$

wo a und d die notirten Uhrzeiten in den Endstationen, b, b' und c, c' Beobachtungszeiten in zwei Zwischenpunkten B und C sind. Es geht also eine unrichtige Zeitbestimmung an den Endpunkten mit dem ganzen Betrage des

¹ Puissant, description géométrique de la France.
Connaissances des temps 1829.

² Airy, Determination of the longitude of Valentia.

³ Bodes Jahrbuch für 1828, p. 128 ff.

Fehlers in das Resultat ein. Bei fast all den erwähnten Längenbestimmungen dienten als Zeitbestimmungsmethoden die Beobachtung der correspondirenden Höhen und bei den Operationen des Can. David vielfach nur Beobachtung einzelner Sonnenhöhen; die kleinen Instrumente mit dem beschränkten Genauigkeitsgrad in der Kreistheilung, verbunden mit den damaligen unsichern Refractionswerthen, besonders für Sonnenhöhen in nördlichen Breiten gemessen in der Nähe des ersten Verticals, konnten in der Bestimmung des Uhrstandes selten eine größere Genauigkeit als eine halbe Zeitsecunde gewähren. Allerdings war seit O. Römer das Mittagsrohr im astronomischen Gebrauche, aber nur als fest aufgestelltes Instrument in gut ausgerüsteten Sternwarten, seine Leistungsfähigkeit für sichere Zeitbestimmungen war bekannt und Tobias Mayer leitete die wichtige nach ihm benannte Reductionsformel ab, aber noch fehlten tiefer gehende Arbeiten, die für die Beobachtungen eine genügende Unabhängigkeit von den vorhandenen Instrumentalfehlern hätten geben können. Diese Arbeiten lieferte Bessel in den Jahren 1824 und 1828, indem er durch theoretische Entwicklungen und später durch Beobachtungen zeigte, welch hohen Grad von Genauigkeit man bei Stationsbeobachtungen durch die Benützung kleiner, tragbarer Durchgangsinstrumente erreichen kann.¹

Eine Anwendung der Formeln hat Bessel durch Beobachtungen in München und Marienbad an einem kleinen Passageninstrumente gegeben,² das mit einem kleinen Höhen-

¹ Ueber die Bestimmung der Polhöhenunterschiede durch das Passageninstrument. *Astronomische Nachrichten*, Band III, pag. 10 ff.

Ueber den allgemeinen Gebrauch des Passageninstrumentes. *Astronomische Nachrichten*, Band VI, pag. 221 ff.

² *Astr. Nachr.* Band IX, Nr. 216.

kreise zum Einstellen der Sterne und einem zerlegbaren messingeneu Stative versehen, ein Fernrohr von einem 8zölligen Theodoliten hatte, der Art, daß das Instrument mit allem Zubehör in einem Kasten von 13 Zoll Länge, 10 Zoll Breite und 6 Zoll Höhe Platz finden konnte.

Die sorgfältigste Längenbestimmung nach der Methode der Beobachtung künstlicher Lichtsignale, an der auch Gauß sich beteiligte, wurde im Herbst 1837 zwischen Göttingen, Marburg und Mannheim unter Gerlings Leitung ausgeführt, um einen Anschluß des Kurhessischen Dreiecksnetzes an astronomische Bestimmungen zu erhalten.¹ Da inzwischen Gauß in seinem Heliotropen ein für geodätische Messungen äußerst wichtiges Instrument erfunden hatte, konnte die Methode der Pulversignale controllirt werden durch Lichtblitze, gegeben vom Heliotropen. Bei diesem Instrumente können Signale dadurch gegeben werden, daß der vorher leuchtende Spiegel plötzlich verdeckt, oder der vorher gedeckte Spiegel plötzlich geöffnet wird, oder endlich durch einen einzelnen Blitz, den der vorher und nachher verdeckte Spiegel gibt. Und um zwischen den Pulverblitzen und den Heliotropsignalen eine möglichste Gleichheit in der Art ihrer Beobachtung herzustellen, entschied sich Gerling für die dritte Art der eben erwähnten Heliotropsignale. Signale wurden nach vorher festgesetzten Zeiten vom Meissner und Feldberg aus gegeben und zwar so, daß immer die Meissner Signale den Feldbergsignalen um 4^m. vorangingen. Für die Heliotropsignale war überdies zur Vermehrung ihrer Anzahl festgesetzt, daß jedesmal drei hintereinander in Zwischenräumen von 30^s folgten. Ungunst der Witterung und andere Umstände machten

¹ Astronomische Nachrichten, Band XV, pag. 250 ff.

es unmöglich, daß stets alle Signale correspondirend gesehen werden konnten. Da der Feldberg im Gesichtsfeld des Passageninstrumentes der Mannheimer Sternwarte liegt, wurden an diesem Instrumente von Nicolai sowohl die Signalbeobachtungen als auch die Zeitbestimmungen ausgeführt. In Göttingen besorgte Goldschmidt die Zeitbestimmungen ebenfalls an einem Meridianinstrument, während Gauß mit Hilfe von Fernröhren die Heliotropsignale beobachtete; die Pulversignale vom nahen Meissner konnten mit bloßen Augen beobachtet werden. Vom Frauenberg, unweit Marburg, ist sowohl der Meissner als auch der Feldberg sichtbar, durch Beobachtung der Feldbergssignale in Mannheim und Frauenberg und der Meissner Signale in Göttingen und Frauenberg konnte somit die Länge der Hauptstationen Mannheim und Göttingen unabhängig von einer Zeitbestimmung auf dem Frauenberg abgeleitet werden. Um indessen auch die Länge von Marburg aus den Beobachtungen bestimmen zu können, wurden auf dem Frauenberg Zeitbestimmungen in doppelter Weise ausgeführt: 1) durch Beobachtungen von Sterndurchgängen an einem 10zölligen Breithaupt'schen Theodoliten, der in ein Passageninstrument umgewandelt wurde und 2) durch Beobachtung von correspondirenden Sonnenhöhen mit dem Steinheil'schen Prismenkreise und dem zugehörigen verquickten Horizont. Leider stellte es sich heraus, daß die Pfeiler, auf welchen das Passageninstrument aufgestellt war, nicht die nöthige Festigkeit besaßen, so daß nur die letzern, von Gerling ausgeführten Zeitbestimmungen in Rechnung gezogen werden konnten. Um constanten Fehlern Rechnung zu tragen, die von dem Unterschiede der Schätzung verschiedener Beobachter in den Appulsen der zeitbestimmenden Sterne als auch von einem Unterschiede bei Beobachtung eines

und desselben künstlichen Lichtsignals herrühren, führte Gerling ein Vergleichen der verschiedenen Beobachter unter sich herbei und ist dadurch einer der ersten, welcher die wichtige Fehlerquelle, die unter dem Namen der persönlichen Gleichung bekannt ist, auf scharfe Weise zu bestimmen gesucht hat. Er fand die nachstehenden Resultate:

Für Lichtblitze:

Gauß-Goldschmidt	= + 0 ^s .088	aus 292	Beobachtungen.
Gerling-Goldschmidt	= + 0.027	„ 56	„
Gerling-Nicolai	= + 0.157	„ 308	„
Gerling-Hartmann	= + 0.055	„ 267	„

Für Sterndurchgänge:

Gerling-Goldschmidt	= + 0 ^s .195	aus 16 Sterndurchgängen,	beobachtet am Passageninstrumente.
Gerling-Nicolai	= + 0.783	aus 72 Sterndurchgängen,	beobachtet am Passageninstrumente.
Gerling-Nicolai	= + 0.681	aus 190 Beobachtungen am	Gauß'schen Federnpendel.
Gerling-Hartmann	= + 0.051	aus 180 Beobachtungen am	Gauß'schen Federnpendel.

Unter 256 Meissner- und 136 Feldbergbeobachtungen finden sich 116 correspondirende; aus den Abweichungen der einzelnen Längendifferenzen vom Mittel kommt als mittlerer Fehler einer Doppelbeobachtung aus allen 392 Beobachtungen 0^s.360 und für die einzelnen Stationen findet Gerling die Werthe:

Göttingen-Frauenberg	= 4 ^m . 36 ^s .19	± 0 ^s .015.
Frauenberg-Mannheim	1 19.68	± 0.021.
Göttingen-Mannheim	5 55.68	± 0.026.

Die Abweichung dieses letztern Werthes von dem auf telegraphischem Wege bestimmten, verglichen mit dem kleinen von Gerling berechneten, wahrscheinlichen Fehler zeigt, daß in dem so abgeleiteten Resultate noch irgendwelche constante Fehler enthalten sind. Am unsichersten bei diesen Operationen bleibt eben immer die Ableitung der Uhrgänge, da die Sternculminationen, aus denen die Uhrstände abgeleitet werden, von der Zeit, in welcher Heliotropsignale unter Benützung des Sonnenlichtes gewechselt werden, um mehrere Stunden abliegen. Auch ist die angewandte Vergleichung der Uhren durch Beobachtung plötzlicher Signale immer beträchtlichen Unsicherheiten unterworfen und es bedarf großer Uebung und vielfacher Controlle, um die Gesetze der hier obwaltenden persönlichen Gleichungen hinlänglich genau zu ermitteln. Eine Methode der Uhrvergleichung, die Wichmann in Königsberg im Jahre 1849 vorschlug,¹ verdient alle Beachtung, indem nach demselben die Uhren entfernter Punkte einfach durch Beobachtung von Coincidenzen verglichen werden sollten, in der Weise, daß man die Schläge der entfernten Uhr als taktmäßig gegebene Signale durch Drehen des Spiegels eines Heliotropen sichtbar macht und die Coincidenz dieser Signale mit den hörbaren Schlägen der andern Uhr beobachtet. Vor und nach einer Reihe von Coincidenzbeobachtungen kann man sich durch willkürliche Lichtblitze über den relativen Stand der Uhren Klarheit verschaffen, und um etwaige constante Fehler zu eliminiren, wäre nur nöthig,

¹ Astronomische Nachrichten, Band XXX, pag. 66 und 67.

Ein Vorschlag zu genauen Beobachtungen von Heliotropsignalen findet sich auch von Egen in Astronomische Nachrichten, Band VIII, pag. 79.

die Coincidenzbeobachtungen mit einem Heliotropen der zweiten Station zu wiederholen. Wichmann theilt eine derartige Beobachtung allerdings nur für zwei nahe gelegene Punkte mit, die an Genauigkeit der Vergleichen unter sich und erprobt durch eine directe Uebertragung der Zeit nichts zu wünschen übrig läßt. In neuerer Zeit haben Laussedat und Liais vorgeschlagen, die rythmisch gegebenen Signale einer elektrischen Lampe mit Hilfe eines Chronographen ganz in der Weise zu beobachten, wie Sterndurchgänge notirt werden, und die nach diesen Principien im Jahr 1879 von den französischen Astronomen Perrier und Bassot und den Spaniern Merino und Esteban ausgeführten Längenbestimmungen zwischen Spanien und Algier (Tetica—M'Sabiha und M'Sabiha—Alger), wobei jeden Abend 640 Signale gewechselt wurden, haben denn auch für diese wichtigen Anschlußpunkte sehr befriedigende Resultate ergeben.¹

3) Bestimmung der Längendifferenz durch Benützung des elektrischen Telegraphen.

Bekanntlich haben Gauß und Weber durch eine doppelte Drahtleitung zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Institut in Göttingen im Jahre 1833 den Grundstein zu der elektrischen Telegraphie gelegt, die durch rasch aufeinanderfolgende Entdeckungen und Verbesserungen in kurzer Zeit einen großartigen Umschwung im öffentlichen Verkehre herbeiführte. Der geniale Erfinder des jetzt noch im Gebrauche stehenden elektrischen Schreibapparates, Prof. Morse, theilte schon im Jahre 1839 Arago seine

¹ Jonction astronomique de l'Algérie avec l'Espagne, Annuaire pour l'an 1880, publié par le bureau des longitudes. Paris.

Ueberzeugung mit, daß durch Benützung des elektrischen Telegraphen die Längendifferenz zweier Punkte mit einer viel größeren Genauigkeit abgeleitet werden kann, als alle bislang bekannten Methoden zu geben im Stande sind; doch erst fünf Jahre später wurde der erste Versuch ausgeführt, indem im Juni 1844 Capitain Wilkes und Lieutenant Eld mittelst der Telegraphenleitung Washington und Baltimore an 3 Tagen Vergleichen zweier Chronometer vornahmen, deren Stand und Gang durch astronomische Beobachtungen vorher ermittelt worden sind. Im Jahre 1845 entschloß sich der Superintendent of the Coast Survey, S. C. Walker, diese Methode zur Bestimmung der Längendifferenz zwischen den Hauptstationen der amerikanischen Küstenvermessung anzuwenden. Da zwischen Washington, Philadelphia und New-York bereits eine Telegraphenverbindung bestand, waren nur noch kurze Verbindungsdrähte anzubringen, um in diesen drei Städten eine elektrische Uhrvergleichung zwischen den astronomischen Stationen ausführen zu können und bereits im folgenden Jahre konnte mit den Messungen begonnen werden.

In Washington beobachtete R. Keith,
„ Philadelphia E. O. Kendall,
„ Jersey City E. Loomis.

Die ersten Versuche scheiterten an Störungen in der Linie, doch konnten am 10. und 22. October Uhrsignale und am 10. October auch die Fädenbeobachtungen des Sterns 2838 Bailey, ausgeführt durch Lieutenant Almy am Passageninstrumente der Washingtoner Sternwarte, in Washington und Philadelphia notirt werden. Im Jahre 1847 wurden die Experimente fortgesetzt und zwar mit vollständigen Apparaten, wie sie im Telegraphendienste gebräuchlich waren. S. C. Walker, der die Oberleitung

für diese Experimente führte, hatte die Methoden weiter ausgebildet und auch auf scharfe Zeitbestimmungen und Ermittlung der obwaltenden persönlichen Gleichungen der Beobachter wesentlich Bedacht genommen. Die schon im Vorjahre versuchte Methode, die Uhren derart durch Signale zu vergleichen, daß der Beobachter der ersten Station mit dem elektrischen Taster in Coincidenz mit den Schlägen seiner Uhr Zeichen gibt, die der Beobachter der zweiten Station durch das Gehör nach den Schlägen seiner Uhr notirt, sollte controllirt werden durch eine sogenannte Coincidenzmethode, die darin besteht, daß der erste Beobachter längere Zeit mit dem Taster in Coincidenz mit den fortlaufenden Secundenschlägen eines Chronometers, das nach mittlerer Zeit geht, Signale gibt, von denen der Beobachter auf der zweiten Station alle die notirt, welche mit seiner Sternzeituhr coincidiren und die also, falls das mittlere Zeitchronometer wie gewöhnlich halbe Secunden schlägt, alle 3 Minuten auf einander folgen. Auch der Beobachter auf der ersten Station notirt die Secunden seiner Sternzeituhr, die mit den Secundenschlägen des Chronometers zusammenfallen. Da der gegenseitige Stand der Uhren durch die gewechselten Signale nahe bekannt ist, wird es leicht, die beobachteten Coincidenzen der Hilfs- und Hauptuhren für eine bestimmte Beobachtungsreihe auf ein mittleres Zeitmoment zu reduciren und daraus sehr scharfe Uhrvergleichungen zwischen den Beobachtungsstationen abzuleiten.

Die Längenbestimmungen nach den besten ältern Methoden, als welche die Beobachtungen von Sternbedeckungen und Mondculminationen gelten, gaben Resultate, die bei sonst normalen und guten Bestimmungen um mehrere Secunden von einander abweichen konnten. Das Aufsehen, das die Resultate der telegraphischen Operationen im

Sommer 1847 in der astronomischen Welt hervorriefen, ist darum leicht begreiflich, denn eine Uebereinstimmung, wie sie z. B. in der folgenden Beobachtungsreihe erreicht wurde, mußte alle Erwartungen übertreffen. Man erhielt als Tagesresultate für die Längendifferenz Philadelphia-Jersey City die nachstehenden Werthe:

1847.	Juli	19	4 ^{m.}	30. ^s 44
		24		30.30
		27		30.42
		28		30 ^s .47
		29		30.41
	Aug.	3		30.39
		10		30.44
		11		30.30

Im Mittel 4^{m.} 30^s.396 ± 0^s.040.¹

Im Jahre 1848 wurde eine Längenbestimmung ausgeführt zwischen New-York (Rutherford's observatory) und der Sternwarte in Cambridge; an der erstern Station beobachtete Loomis an einem neuen, der Coast Survey gehörigen Durchgangsinstrument, die Beobachtungen in Cambridge besorgte W. C. Bond, und um für die Längendifferenzen eine weitere Controlle zu erhalten, wurden gleichzeitig auf beiden Stationen die Durchgänge eines und desselben Sternes notirt, indem der Beobachter auf der östlichen Station zuerst die Fädenantritte eines dem Beobachtungsschema angehörigen Sternes beobachtete und dessen Durchgangszeiten mit seinem Taster auch dem Beobachter der westlichen Station bemerklich machte; passirte dann der Stern den Meridian des westlichen Beobachters, so übermittelte dieser

¹ Loomis, the recent progress of astronomy, especially in the United States. New-York 1856, p. 309.

in gleicher Weise seine Fädenbeobachtungen auf die östliche Station, so daß aus den Notirungen eines jeden so beobachteten Sternes auf beiden Stationen die Längendifferenz unabhängig von den Tafelfehlern und den absoluten Uhrständen abgeleitet werden konnte. Als hauptsächlichste Fehlerquelle verblieb also nur noch die Unsicherheit, mit der überhaupt plötzliche Zeichen beobachtet werden, und es mußte daher das Bestreben der Astronomen darauf gerichtet sein, durch den electricen Strom die Secundenschläge der Uhr graphisch darzustellen, etwa durch eine fortlaufende Reihe von Punkten, die alle gleich weit von einander abstehen und zwischen welche die beobachteten Signale durch den electricen Apparat eingetragen werden, so daß die Schätzungen nach dem Gehör wegfallen, um einer viel genauern Messung mit Zirkel oder Maaßstab Platz zu machen. Es handelte sich also zunächst darum, durch die Uhr einen Secundenschluß des electricen Stromes hervorzubringen und den vereinigten Bemühungen der Astronomen und Uhrmacher gelang es denn auch, die Aufgabe in verschiedener Weise zu lösen.

Der am häufigsten in Gebrauch gekommene Unterbrechungsapparat rührt von Joseph Saxton her und besteht darin, daß das Pendel der Uhr unten in eine Metallspitze ausläuft, die bei jeder Schwingung einen Quecksilbertropfen berührt und dadurch für einen Moment die electriche Verbindung der Pole herstellt. Diese Vorrichtung läßt sich so einrichten, daß der Gang des Pendels nicht merklich gestört wird, allein man hat alsdann fortwährend mit dem Oxidiren der Oberfläche des Quecksilbers zu kämpfen. Um das zu vermeiden, kann man, statt des Quecksilbers, Platina anwenden, soll aber dann die Berührung der Platinstücke kräftig genug erfolgen, um eine Schließung der

galvanischen Kette zu erzeugen, so wird eine Störung im Gange des Uhrpendels nicht zu vermeiden sein. Einen verbesserten Contactapparat, der in vielen Sternwarten eingeführt ist, hat Krille gegeben¹ und um die Uhr in ihrem Gange möglichst zu erhalten, hat Hansen für das Oeffnen und Schließen der Kette ein besonderes Räderwerk construirt, welches seine eigene Triebkraft besitzt und nur von der Uhr ausgelöst zu werden braucht, ohne daß dadurch das Pendel in seiner Bewegung gestört wird.²

Sobald einmal solche Schlußvorrichtungen in genügender Vervollkommung vorhanden waren, konnte es nicht mehr schwer fallen, die erwünschte Registrirmethode herzustellen, es war nur nöthig, die gewöhnliche Morsé'sche Schreibvorrichtung durch Chronographen zu ersetzen, die eine möglichste Gleichförmigkeit in der Bewegung der Papierrolle gewähren. Solche Apparate wurden ausgeführt von Saxton, Kerrison, Bond, Mitchell,³ Krille, Lamont, Gueßfeld, Hipp u. A. und der erste Längenbestimmungsversuch mittelst Registrirapparaten wurde im Jahre 1849 zwischen Washington, Philadelphia, Cambridge und New-York unter Benützung einer Uhr des Prof. Locke ausgeführt, die an der Axe des Hemmrades ein Rad mit 60 Zähnen enthält, von denen einer nach dem andern eine Platinfeder niederdrückt und dadurch den Strom unterbricht. Diese Uhr war in Phila-

¹ Anhang zu: C. A. F. Peters, Ueber die Bestimmung des Längenunterschiedes zwischen Altona und Schwerin. Altona 1861.

² Bruhns und Auwers, Bestimmung der Längendifferenz zwischen den Sternwarten zu Leipzig und Gotha, pag. 10 ff. Aus den Abh. der Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Band XIII.

³ E. Loomis, the recent progress of astronomy, especially in the united states, New-York 1856.

delphia aufgestellt und mit dem Telegraphennetze verbunden, derart, daß ihre Secundenschläge auf allen 4 Stationen registriert wurden. Der Beobachter der östlichen Station pointierte sodann mit seinem Telegraphentaster die Faden-durchgänge des ersten Sterns, wodurch auch in den 3 andern Stationen diese Beobachtungen durch den Chronographen notirt wurden und in gleicher Weise wiederholten sich die Beobachtungen bei der Culmination des Sterns in den übrigen Stationen, so daß bei Benützung nur einer Uhr die Länge aus den Notirungen in den 4 Stationen abgeleitet werden konnte unter Voraussetzung bekannter Instrumentalfehler und eines bekannten Uhranges. Diese Methode wurde in der Folge in den vielen, unter der Direction von B. A. Gould ausgeführten amerikanischen Längenbestimmungen fast ausschließlich benutzt, so:

1849	zur Bestimmung d. Längendifferenz Philadelphia-Hudson, (Ohio).
1850	Washington-Charlestown (South Carolina).
1851	Charlestown-Savannah. Cambridge Mass.-Bangor, (Maine). Bangor-Halifax.
1852	Washington (Seaton Sta- tion)-Roslyn Station etc.

Das hiebei befolgte Beobachtungsschema war im Wesentlichen das folgende:

1. Einschalten der Uhr der östlichen Station in die Leitung.
2. Beobachtung des ersten Sterns.
3. Ablesung des Niveau's.
4. Beobachtung des zweiten Sterns.

5. Umlegen des Instruments.
6. Beobachtung des dritten Sterns.
7. Ablesung des Niveau's etc. bis Beobachtung des
10. Sterns.

Dann wird die Uhr ausgeschaltet, an ihre Stelle tritt die Uhr der westlichen Station und die Beobachtung wird fortgesetzt, bis 10 weitere Sterne registriert sind. Vor und nach den telegraphischen Operationen sind Zeitbestimmungen unter Benützung der Localuhren auszuführen.

Die gewaltigen Erfolge der Amerikaner mußten auch die Aufmerksamkeit der Astronomen Europas auf sich ziehen und der erste, der den neuen Methoden und den verbesserten Apparaten ein eingehendes Studium widmete, war der königliche Astronom Prof. Airy in Greenwich. In seinem Bericht „On the method of observing and recording transits lately introduced in Amerika“,¹ den er im December 1849 der Royal Astronomical Society erstattete, machte er Vorschläge zu Verbesserung des Registrirapparates, und da seine Bemühungen, einen Chronographen mit sicher gleichförmiger Bewegung herzustellen, nicht in der gewünschten Zeit von Erfolg begleitet waren, so ließ er telegraphische Längenbestimmungen ausführen im Sommer 1852 zwischen Greenwich und Cambridge und im Mai 1853 zwischen Greenwich und Edinburg, unter Benützung einer empfindlichen Magnetnadel, um die der electriche Strom geführt wird, so daß durch die electriche Signale, gegeben von einer der Stationen aus, die Nadel eine Ablenkung erfährt, und um constanten Fehlern Rechnung zu tragen, die von der persönlichen Gleichung abhängen, hatten die Beobachter die Stationen zu wechseln. Schon die Amerikaner hatten in ihren Messungen seit 1839 nachgewiesen,

¹ Monthly Notices of the Royal astronomical Society 1850, vol. X.

daß der electriche Strom zum Durchlaufen der Linie eine bestimmte endliche Zeitdauer erheischt. Aeltere Versuche, diese Stromzeit zu bestimmen, liegen verschiedene vor,¹ die, wie nicht anders zu erwarten, bedeutend von einander abweichende Werthe ergaben; sind doch die neuern Bestimmungen, bei denen viel größere Sorgfalt und vor allem ein Ausgleichen der Stromstärke stattfand, immer noch nicht innerhalb wünschenswerther Fehlergrenzen.

Die erste telegraphische Längenbestimmung in Deutschland fand statt im August des Jahres 1853 zwischen Frankfurt am Main und Berlin und wurde von Encke, Brunnow und Lorey auf Wunsch des physikalischen Vereins zu Frankfurt ausgeführt.² Die Uhren wurden verglichen durch einfache Signale unter Benützung eines Morsé'schen Apparates, ganz in der Weise, wie die ersten amerikanischen Versuche ausgeführt worden sind. Im November 1853 folgte die Bestimmung Greenwich-Brüssel durch Bouvy und Dunkin in gleicher Weise, wie die frühern Verbindungen mit Greenwich ausgeführt wurden, und um die persönliche Gleichung zu eliminiren, hatten die Beobachter die Stationen zu wechseln. Sobald die unterseeische Telegraphenleitung fertig war, folgte im Mai und Juni 1854 nach derselben Methode die Längenbestimmung Greenwich-Paris durch Dunkin und Faye, ebenfalls bei einem Wechsel der Beobachter. Die Beobachtungen wurden auf 12 Abende ausgedehnt und im Ganzen sind 1703 Signale gegeben worden. Die einzelnen

¹ Proceedings Am. Phil. Soc., vol. V, page 76.

» » » » at New Haven, p. 97, 92, 401.

Astronomical Journal vol. I, p. 16, 55.

Coast Survey Report 1850, p. 87.

» » » 1852, p. 26.

² Das Detail ist von Encke mitgetheilt in Astron. Nachr. 39, p. 1.

Tagesmittel der beiden Serien stimmen recht gut unter einander und die Längendifferenz Greenwich-Paris, bezogen auf den alten Meridian von Frankreich ist nach dieser Bestimmung:

$$9^m 20^s.51.^1$$

Es ist selbstverständlich, daß zur Bestimmung der Längendifferenz der beiden bedeutendsten Sternwarten alle Methoden versucht worden sind, von denen irgend ein brauchbares Resultat erwartet werden konnte; zu den ältern astronomischen Bestimmungen (Finsternisse, Sternbedeckungen, Mondculminationen) traten geodätische Triangulationen, Lichtsignale und Chronometerexpeditionen, so daß der Mittelwerth aus all diesen Bestimmungen bis auf einige Zehntel als richtig angenommen wurde; dieser Werth war:

$$9^m. 21^s.5,$$

also um eine ganze Zeitsecunde zu groß. Die Tagesmittel, aus denen der Werth $9^m. 20^s.51$ hervorgeht, sind folgende:

Dunkin in Paris, Faye in Greenwich.

1854	Mai	27	Paris-Greenwich	$9^m. 20^s.39.$
	"	29		20.58.
	"	31		20.55.
	Juni	3		20.45.
	"	4		20.51.
Mittel				$9^m. 20^s.48.$

¹ Loomis, Progress of Astronomy, New-York 1756, p. 355. Dieser Werth ist auch von Perrier unverändert in der Zusammenstellung der telegraph. Längenbestimmungen, Anhang zum Gradmessungsbericht 1880, aufgenommen, aber ohne Angabe der Publication der Rechnungen.

Faye in Paris, Dunkin in Greenwich.

Juni 12	Paris-Greenwich	9 ^m . 20 ^s .76.
13		20.78.
17		20.76.
18		20.71.
20		20.75.
21		20.76.
24		20.84.
Mittel		9 ^m . 20 ^s .77.

Nimmt man aus den beiden Werthen das arithmetische Mittel, so kommt

Paris-Greenwich 9^m. 20^s.63 und für die persönliche Gleichung kommt der Werth:

$$p = 0^s.145.$$

Als Reductionsgröße für den Meridian von Frankreich wird 0^s.12 angegeben, woraus der oben angegebene Werth 9^m. 20^s.51 sich ergibt. Eine Controlle für diese wichtige Bestimmung ist erst im Jahre 1872 ausgeführt worden, als die Amerikaner, um einen Anschluß einiger Punkte ihrer Küstenvermessung an die wichtigsten europäischen astronomischen Punkte zu erhalten, diese Längendifferenz einer Neumessung unterwarfen und das Resultat bewies, daß in der ersten Messung noch bedeutende constante Fehler eingeschlossen sind; der neue Werth ist:

$$\text{Paris-Greenwich } 9^m. 20^s.966 \pm 0^s.038.^1$$

Die besten Controllen für derartige Bestimmungen geben die Dreiecks- und Polygonschlüsse, die sogar vor mehrfachen Messungen einen Vorzug verdienen; in der unten¹ citirten amerikanischen Vermessung findet sich das Dreieck

¹ United States Coast Survey, Methods and results, Transatlantic longitude, Washington 1877.

Brest-Paris-Greenwich, in welchem, eine völlig richtige Messung vorausgesetzt, die Gleichung erfüllt sein muß:

$$\text{Brest-Paris} + \text{Paris-Greenwich} + \text{Greenwich-Brest} = 0.$$

Die gefundenen Resultate geben statt 0 den Fehler $0^s.084$, der sich natürlich auf die drei unabhängigen Messungen vertheilt. —

In den Jahren 1856, 57 und 58 wurden in Deutschland ausgeführt die Längenbestimmungen Berlin - Königsberg, Berlin-Brüssel und Altona-Schwerin und hieran schließt sich denn die große Reihe von Längenmessungen, die nach einheitlichen Principien unter der Aufsicht der Europäischen Gradmessungscommission ausgeführt worden sind. Im Jahre 1856 unternahm das Pariser Observatorium die telegraphische Längenbestimmung Paris-Berri-Boui, wobei es von dem Dépôt de la guerre unterstützt wurde. Von da ab ruhten die Arbeiten mehrere Jahre und erst 1861 konnte das Observatorium dieselben mit der Längenbestimmung von Havre wieder aufnehmen. Seitdem wurden sie fast ununterbrochen fortgesetzt.¹

Einen gewaltigen Aufschwung in den Gradmessungsarbeiten erzielte im Jahre 1861 der preussische General Bayer durch eine Denkschrift, in der er, da gerade Mitteleuropa durch seine zahlreichen Sternwarten zur Bestimmung astronomischer Punkte und auch zu Triangulierungsarbeiten besonders geeignet ist, sämtliche Staaten Europas zu einer Mitteleuropäischen Gradmessung aufforderte, welche von Drontheim bis Palermo einen eben so großen Bogen umfassen sollte als die Skandinavisch-russische Gradmessung. Als zunächst im Jahre 1862 Sachsen und Oesterreich sich durch ihre Vertreter mit General Bayer berathen und eine

¹ Villarceau, Notices sur les travaux scientifiques. Paris 1866.

Anzahl Mitteleuropäischer Staaten ihre Bereitwilligkeit zur Theilnahme erklärt hatten, wurde im Jahre 1864 in Berlin die erste Conferenz abgehalten und es wurden in derselben die zu erstrebende Genauigkeit der Beobachtungen und die Normen, nach welchen gearbeitet werden sollte, festgestellt. Im Jahre 1867 wurde die Mitteleuropäische Gradmessung zu einer Europäischen erweitert, an der mit Ausnahme der Türkei und Griechenland sämtliche Staaten Europas theilnehmen, wenn man von Großbritannien, dessen Arbeiten vollendet sind, absieht. Die auf der Generalversammlung im Jahre 1864 von der Astronomischen Section festgesetzten Normen für die im Bereiche der Gradmessung auszuführenden Längenbestimmungen schließen sich wesentlich an die Vorschläge an, die Professor Argelander durch ein Schreiben an Professor Förster der Conferenz unterbreitete; wesentliche Modificationen und Zusätze erhielten die Normen durch die Berathungen in den Conferenzen in Berlin 1867 und in Wien 1871 und es ist unsere nächste Aufgabe, auf die Beschlüsse und deren Ausführung im folgenden einzugehen.¹

Einer der bedeutendsten Argelander'schen Vorschläge besteht darin, daß möglichst alle Polhöhen- und Längenbestimmungen über das ganze zu untersuchende Areal der Gradmessung von denselben Beobachtern, etwa vier an der Zahl, und mit möglichst identischen Instrumenten ausgeführt werden möchten. Die Conferenz hat den muster-gültigen Charakter eines solchen Verfahrens anerkannt, mußte aber doch den Schwierigkeiten und Verzögerungen gerecht werden, welche die Wahl jenes Verfahrens hätte

¹ Vergleiche Gradmessungsberichte von den Jahren 1864, 67, 71, 74, 77 und 1880.

mit sich bringen müssen und beschloß nur die Erstrebung einer solchen Gleichmäßigkeit innerhalb der einzelnen Messungsgebiete dringend zu befürworten und es verdient der Commissionsbeschluß noch besondere Erwähnung, daß für die verschiedenen Beobachter und Instrumente benachbarter Gebiete besondere Vergleichsoperationen zur Sicherung der Uebergänge stattfinden mußten. Um eine solche einheitliche Vermessung zu ermöglichen, erklärte sich in der Folge das königl. preußische geodätische Institut bereit, mit seinem Personal und seinen Instrumenten den kleinern Staaten an die Hand zu gehen und das Großherzogthum Baden übertrug denn auch sämmtliche in diesem Staate nothwendigen geodätischen Bestimmungen an Preußen. Wenn auch bei den Längenverbindungen mit Sternwarten meistens die Astronomen dieser Institute mit der Ausführung der Operationen betraut wurden, so daß die Anzahl der Beobachter den Argelander'schen Vorschlag weit übersteigt, so ist doch nicht zu befürchten, daß dadurch die Genauigkeit der Resultate gelitten hätte; dagegen ist nicht zu verkennen, daß für die ersten Messungen der Mangel an gleichartigen Instrumenten vielfach störend gewirkt hat und auch neuern Bestimmungen kann aus demselben Grunde das hohe Gewicht nicht zuertheilt werden, das andern nicht mit mehr Sorgfalt, aber mit gleichen Instrumenten ausgeführten Messungen gehört.

In Deutschland hat sich an den meisten Längenbestimmungen das königlich preussische geodätische Institut betheiligt und zwar zumeist durch die Herren Albrecht, Richter, Löw und Valentiner, außerdem sind zu erwähnen Auwers, Bruhns, Engelmann, Förster, Peters, Seeliger, Weinek und für Bayern Oberst v. Orff; in Oesterreich wurden die geodätischen Operationen geleitet erst von Littrow, später

von Oppolzer und die meisten Längenbestimmungen sind ausgeführt von Weiß, Oppolzer, Anton, Schramm, Gruber, Steeb und Kühnert; in Rußland sind hauptsächlich zu erwähnen Pomerantzeff, Rylke, Sawitzki; in Frankreich Leverrier, Lepissier, Folain, Villarceau, Perrier, Bassot, Loewy; in Italien Celoria, Lorenzoni, Nobile und in der Schweiz Plantamour, Hirsch und Wolf.

Um die zeitmessenden Apparate der beiden Stationen zu vergleichen, oder um die absoluten Zeitunterschiede der Meridiandurchgänge derselben Sterne zu bestimmen, empfahl die Conferenz, in erster Linie die Hilfsmittel der electricischen Leitungen anzuwenden und als hiebei anzuwendende Methoden sind zu nennen die Registrirmethode, die Methode der gehörten Coincidenzen und die Methode der Signale. Alle diese Operationen sind so einzurichten, daß die veränderlichen Stromzeiten und die Fehler der Apparate eliminirt werden.¹ Bei den telegraphischen Verbindungen müssen die Leitungen bis unmittelbar zu den Instrumenten gehen. Translatoren zwischen den Endstationen sind zu vermeiden, da dieselben notorisch beträchtliche Fehlerquellen bilden.

Bei den älteren Längenbestimmungen wurden möglichst alle drei Methoden in Anwendung gebracht, doch zeigte es sich, daß bei ausgedehnten Telegraphenleitungen ein Freihalten der Linie von Störungen aller Art nur selten möglich ist und so wurde schon in der Längenbestimmung Leipzig-Wien im Jahr 1865 die Registrirmethode verlassen, da ihre Anwendung an die Bedingung geknüpft ist, daß

¹ Für die hiezu nöthigen Anweisungen: Albrecht, Ueber die Bestimmung von Längendifferenzen mit Hülfe des electricischen Telegraphen. Leipzig 1869, p. 67 ff.

Albrecht, Formeln und Hülftafeln für geographische Ortsbestimmungen. Leipzig 1879, p. 70 ff.

die Leitung während der ganzen Dauer der Beobachtung zur Disposition steht. Bis zum Jahre 1865 bestund die Signalmethode in der Beobachtung der hörbaren Anschläge des Relais, bei der Bestimmung Wien-Berlin modificirte man dieselbe nach einem sinnreichen Vorschlage des Herrn Director Förster dahin, daß die Signale nicht durch das Ohr aufgefaßt werden sollten, wobei sehr veränderliche Gleichungen auftreten, sondern auf dem Registrirsteifen beider Stationen zu notiren waren. Für diese Art der Beobachtung müssen selbstverständlich an jedem der beiden Orte gemeinschaftliche Sterne, übrigens nur lokal registriert werden, um die Gleichmäßigkeit der Zeitskala herzustellen.¹ Eine Uhrvergleichung durch derartige Signale kann bei einer zweckmäßigen Gruppierung und Ausdehnung der Zeichenwechsel zu einer solchen Schärfe des Resultates gebracht werden, daß noch eine weitere Verbindung mit andern Methoden als völlig überflüssig erscheint und so sind denn auch bei den meisten neuern Längenmessungen nur solche Signalwechsel in Anwendung gekommen.

Durch correspondirendes Beobachten derselben Sterne werden etwaige Fehler in den Rectascensionen der beobachteten Sterne eliminirt, es empfiehlt sich daher, dieses Verfahren immer beizubehalten, es sei denn, daß die sehr große Entfernung der Stationen, oder verschiedenartige mittlere meteorologische Verhältnisse derselben ein Beobachten verschiedener Sterne nothwendig machen, wobei alsdann auf die Ableitung der Rectascensionen besonderes Gewicht zu legen ist. Von Sammelcatalogen, welche auf die Beobachtungen einer größern Zahl von Sternwarten basirt und somit zum großen Theil von den individuellen

¹ C. v. Littrow, Bestimmung der Längendifferenz Wien-Berlin, Denkschriften der K. Academie der Wissenschaften. Band 32.

Fehlern der Instrumente der einzelnen Sternwarten befreit sind, erwähnen wir:

- 1) Catalog der Gradmessungssterne im Generalbericht über die Europäische Gradmessung für das Jahr 1871, p. 123 ff.
- 2) Rectascensionen, Declinationen und Eigenbewegung von 39 Polsternen als Hilfsmittel für telegraphische Längenbestimmungen; im Anhang zum Generalbericht für 1873.
- 3) Catalog der Astronomischen Gesellschaft im IV. Jahrgang der Vierteljahrschrift der Astronomischen Gesellschaft, neu gerechnet von Auwers.
- 4) Catalog von Safford in: Safford, Catalogue of the mean declination of 981 stars, Washington 1873.
- 5) Provisorischer Catalog der österreichischen Gradmessungssterne.
- 6) Neuer Catalog der Gradmessungssterne, bezogen auf 1875/0 nebst den Reductionsgrößen:
 Vierteljahrsschrift auf Gradmessungscatalog.
 Safford auf Gradmessungscatalog.
 „ „ Vierteljahrsschrift.
 im Generalbericht für 1877.

Nennen wir, wie v. Oppolzer in seinem Gradmessungscatalog es thut, eine Verbindung von 3—4 Sternen, nicht schwächer als 6. Größe und nicht zu weit vom Aequator entfernt, die in Intervallen von 3—5 Zeitminuten nach einander culminiren, einem Polstern, bei dessen Culmination das Instrument umgelegt wird, und wieder 3—4 Sternen wie vorhin, eine Zeitbestimmung, so können wir als Beobachtungsschema, nach welchem mit unwesentlichen Aenderungen die meisten neueren Längenbestimmungen ausgeführt worden

sind, dasjenige anführen, das in der Publication der Längendifferenz Wien-Leipzig¹ angegeben ist:

Signalwechsel (von jeder Station viermal 16 Signale).	
Erste Zeitbestimmung	zweimal nivellirt vor
mit Umlegung	„ „ nach der Umlegung.
Zweite Zeitbestimmung	zweimal nivellirt vor
mit Umlegung	„ „ nach der Umlegung.
Dritte Zeitbestimmung	zweimal nivellirt vor
mit Umlegung	„ „ nach der Umlegung.

Signalwechsel (von jeder Station viermal 16 Signale.)

Durch eine derartige Anordnung und Ausdehnung der Beobachtungen ist es möglich, auch der Veränderlichkeit der Instrumentalfehler mit genügender Schärfe Rechnung zu tragen. Wie zuerst C. A. F. Peters gezeigt hat, werden die Cosinusglieder in den Biegungsfehlern der Zeitbestimmung durch ein systematisches Umlegen der Passageninstrumente eliminirt; die in $\sin z$, $\sin 2z$, $\sin 3z$ etc. multiplicirten Glieder werden zwar durch das Umlegen nicht verringert, können aber dadurch unschädlich gemacht werden, daß man Zeitsterne beobachtet, deren mittlere Zenithdistanz nahe gleichkommt der nördlichen der Polarsterne. Für Zenithsterne wird dieser Fehler Null.²

Ist der Polhöhenunterschied der beiden Stationen, deren Längendifferenz bestimmt werden soll, nicht bedeutend, so kann man auch durch correspondirende Beobachtungen identischer Polsterne an beiden Stationen die genaue Kenntniß

¹ Carl Bruhns, Neue Bestimmung der Längendifferenz zwischen der Sternwarte in Leipzig und der neuen Sternwarte auf der Türkenschanze in Wien. Abh. der K. S. Ges. d. Wissensch. XX, p. 7.

² C. A. F. Peters, Ueber Bestimmung des Längenunterschiedes zwischen Altona und Schwerin, p. 3.

Bruhns und Förster, Bestimmung der Längendifferenz Berlin-Leipzig. Leipzig 1865, p. 39 ff.

ihrer Rectascensionen entbehrlich machen und so die Zahl der Azimutbestimmungen beliebig vermehren. Für die südlichen Oerter Europas wird auch das Verfahren, Zeitsterne selbst symmetrisch nördlich und südlich nahe dem Zenith zu beobachten, sehr zu empfehlen sein, weil dort die Zenithsterne sich nicht zu langsam bewegen und die zufälligen Fehler in der Bestimmung der Azimute bei diesem Verfahren unschädlich werden. In Folge der langsamen Bewegung der Polsterne ist es bei Längenbestimmungen vielfach vorgekommen, daß diese Polsterne mit Auge und Ohr beobachtet, die Zeitsterne dagegen registriert wurden; hierin wird empfohlen, daß jeder Beobachter genau prüfen soll, ob er die Polsterne mit gleicher Auffassung nach beiden Methoden beobachtet oder nicht. Die etwaige Differenz der nach beiden Methoden erhaltenen Resultate ist an die mit Auge und Ohr gemachten Polsternbetrachtungen gehörig anzubringen.

Im Jahre 1866 kam auf Vorschlag des Prof. Lindhagen eine Uebereinkunft zu Stande zwischen den Astronomen Schwedens, Norwegens und der Sternwarte von Pulkowa, die zum Zwecke hatte, die genauen Längenunterschiede zwischen den Sternwarten Pulkowa, Helsingfors, Stockholm und Christiania zu bestimmen. Da diese Sternwarten schon geodätisch mit einander verbunden sind, so würde sich unter dem 60. Breitengrade eine Längenbestimmung ergeben, die leicht eine Dimension von 27° Länge erreichen könnte, wenn man sie nach Osten bis Novaja Ladoga und nach Westen bis Bergen ausdehnen wollte. Diese Arbeit wurde 1868 begonnen, indem Krüger in Helsingfors und der Dirigent der geodätischen Arbeiten in Finnland, Oberst Järnefelt, die Länge von Pulkowa-Helsingfors bestimmten und bereits im Jahre 1879 wurden die Vorbereitungen zu

der Längenbestimmung Christiania-Bergen getroffen, während die Längenbestimmung Stockholm, Christiania, Kopenhagen in's Jahr 1865 fällt. Bei den russischen Operationen an dieser Längenmessung, wie auch bei der frühern großen Längenmessung auf dem 52. Breitengrade, die 1864 mit der Bestimmung Saratow-Haverford begonnen wurde und im Jahre 1867 durch die Längenbestimmung Orenburg-Orsk ihren Abschluß erreichte, wurden mit großem Erfolge die Zeitbestimmungen nach einem Vorschlage von Dölln im Vertical des Polarsterns ausgeführt.

Zu einer vollständigen Zeitbestimmung, die bei günstigem Wetter 30–40 Minuten dauerte, gehörte die Beobachtung von 4 Zeitsternen; zwischen dem 1. und 2. und zwischen dem 3. und 4. wurde umgelegt. Vor und nach der Beobachtung jedes Zeitsterns wurde der bewegliche Doppelfaden ein oder mehrere Male auf den Polarstern eingestellt und unmittelbar nach der ersten und zweiten Zeitbestimmung werden die Uhren durch electriche Signale verglichen. Zu diesen Beobachtungen, die mit Auge und Ohr angestellt sind, dienten zwei ganz gleiche, der Pulkowaer Sternwarte gehörige, transportable Passageninstrumente mit gebrochenem Fernrohr von 2".6 Objectivdurchmesser und 31" Focallänge bei 100maliger Vergrößerung, einem Hängeniveau und einer leichten Verstellung im Azimut auf ungefähr 10° . Das Niveau wurde nach jedem Sterne abgelesen, doch blieb dasselbe hängen und wurde nur mit dem Instrumente umgelegt. Die Vergleichung der Chronometer geschah auf die Weise, daß durch das Gehör Coincidenzen mit einer Hilfsuhr, deren Schläge der eine Beobachter mit seinem Taster auf der andern Station bemerkbar machte, beobachtet wurden. Innert 13^s fiel eine Coincidenz und 9 solcher bildeten eine Gruppe. Die nächsten

zwei Gruppen wurden vom Beobachter der zweiten Station gegeben und die 4. endlich wieder von dem der ersten Station, und da eine Gruppe nur $3\frac{1}{2}$ Minuten erfordert, konnte der ganze Signalwechsel in 15 Minuten fertig gebracht werden. Bei den neuern Bestimmungen wurden die Uhren durch einfache registrierte Signale verglichen, ähnlich wie das in unserem allgemeinen Beobachtungsschema angedeutet ist. Bei dem Wechseln der Stationen führten die Beobachter alle ihre Instrumente mit.

Die beträchtliche Zeitersparniß und die große Sicherheit, welche die Döllens'sche Zeitbestimmung zu geben im Stande ist, sind sehr empfehlende Factoren für diese Methode; die astronomische Commission hat denn auch auf deren Brauchbarkeit aufmerksam gemacht und der Chef der Gradmessungsarbeiten in Oesterreich, v. Oppolzer, benutzte dieselbe bei Anlaß der Anschlußmessungen zwischen Oesterreich und Rußland durch die Längenbestimmungen Warschau-Wien und Pulkowa-Wien im Jahre 1875 und 1876 als Controllmethode für die Zeitbestimmung bei der großen Längenoperation Wien-Greenwich-Berlin-München. Die Längenbestimmung Wien-Greenwich sollte von den österreichischen Beobachtern allein ausgeführt werden und zwar hatten auf beiden Stationen zwei Beobachter unter Benützung zweier Uhren die Uhrcorrectionen unabhängig zu bestimmen. Zu den gewöhnlichen Zeitbestimmungen durch Meridianbeobachtungen dienten die beiden der österreichischen Gradmessung gehörenden geraden Repsold'schen Passageninstrumente; für die Zeitbestimmungen im Vertical des Polarsterns stellte der russische Generalstab zwei der Pulkowaer Sternwarte gehörige Passageninstrumente zur Verfügung. Als das Zustandekommen der Operationen zwischen Greenwich und Wien durch die österreichischen

Beobachter gesichert erschien, erklärten Director Lamont in München und Director Förster in Berlin ihre Bereitwilligkeit, an den Messungen Theil zu nehmen, so daß durch diese Längenbestimmungen, die durch die Ungunst der Witterung vom 10. Juli bis 26. September ausgedehnt wurden, fünf Resultate abgeleitet werden konnten. Zur Elimination der persönlichen Gleichung wechselten in Wien und Greenwich die Beobachter mit Beibehaltung der Methoden ihre Stationen und zwischen allen Beobachtern wurde die persönliche Gleichung durch vielfaches Vergleichen bestimmt. In Berlin diente als Instrument der große Pistor- und Martin'sche Meridiankreis, in München ein der österreichischen Gradmessung gehörendes, gerades Passageninstrument von Troughton und Simms, so daß noch besondere Beobachtungen nothwendig erschienen, um etwaige Fehler, die von den instrumentalen Ungleichheiten herrühren könnten, zu bestimmen und zu eliminiren. Ueber die Uhrvergleichungen berichtet v. Oppolzer wie folgt:¹ „Im Anfang eines jeden Beobachtungsabends wurden in der gewöhnlichen Weise die Uhren zwischen Wien und Berlin verglichen und dann sofort zwischen Berlin und Greenwich. Zu der letztern Operation hatte Director Förster die Erlaubniß zu Benützung der Linie London-Berlin über Emden erwirkt; es stellte sich hiebei die erfreuliche Thatsache heraus, nachdem in Berlin ein unserem Relais analoger Apparat aufgestellt war, daß ein directer Signalaustausch ohne irgend einen Translator trotz der verhältnißmäßig langen unterseeischen Leitung zwischen London und Berlin möglich war, ohne besondere Entladungsapparate für das Kabel in Anwendung bringen zu müssen. Gang ähnliche Uhrver-

¹ Bericht des Herrn v. Oppolzer im Gradmessungsbericht 1876.

gleichungen wurden am Ende einer jeden Beobachtungsnacht angestellt, nur mit dem Unterschiede, daß vorerst die Greenwicher Uhr mit der Berliner und erst nachher die Wiener Uhr mit der letztern verglichen wurde. Es erscheint daher die Wiener Uhr mit der Greenwicher durch Einschaltung der Berliner Normaluhr vor und nach jeder Beobachtungsreihe verglichen. Außerdem wurden in der Mitte eines jeden Beobachtungabends die Wiener und Greenwicher Uhren direct unter Anwendung zweier Translatoren in München und Paris in Verbindung gebracht und um die etwas kurz zugemessene Zeit der Benützung der Linien möglichst zu verwerthen, war eine solche Anordnung getroffen, daß jede von einer Station ausgehende Zeichenreihe sich stets auf allen drei Stationen abbildete.“

Bessel hat bei seinen sonstigen vielfachen und großen Verdiensten um die Astronomie auch das Verdienst sich erworben, daß er zuerst auf die Differenzen aufmerksam gemacht hat, welche zwischen den von verschiedenen Beobachtern an demselben Instrumente beobachteten Durchgangszeiten stattfinden. Zu dieser Entdeckung wurde er durch eine Bemerkung von Maskelyne in dem Jahrgange 1795 der Annalen der Greenwicher Sternwarte veranlaßt. Maskelyne erwähnt dort, daß sein Gehilfe, Dr. Kinnebrook, sich nach und nach angewöhnt habe, die Durchgänge der Gestirne durch die Fäden des Passageninstruments um $0^s.5$ bis $0^s.8$ später zu beobachten als er selbst. Im Jahre 1794 und im Anfange von 1795 habe er übereinstimmend mit Maskelyne beobachtet, aber im August 1795 angefangen, eine halbe Stunde später zu beobachten, welcher Unterschied im Jahre 1796 bis $0^s.8$ angewachsen sei. Maskelyne war der Meinung, Kinnebrook hätte eine ihm eigenthümliche, unregelmäßige und fehlerhafte Methode befolgt und

sah sich veranlaßt, ihn zu entlassen. Erst Bessel erkannte in jener Thatsache die Folge der allen Durchgangsbeobachtungen eigenthümlichen persönlichen Gleichungen und seine Vergleichen mit Argelander und Walbek¹ ergaben denn auch größere Differenzen, als zwischen Maskelyne und Kinnebrook je bestanden hatten. Im Jahre 1820 beobachtete Bessel um 1^s.04 früher als Walbek und um 1^s.22 früher als Argelander und zwar wurden diese Beobachtungen nach der Aug- und Ohrmethode mit einer Uhr angestellt, die ganze Secunden schlägt; auch eine starke Veränderlichkeit in der Personalgleichung erhielt Bessel mit seinen Vergleichen mit Struve; so finden sich in den Königsberger Beobachtungen Abth. 20 die Zahlen:

1814.8	B-S	=	—	0 ^s .04	directe	Vergleichung.
1821.1		=	—	0.80	indirecte	"
1823.5		=	—	1.02	"	"
1834.5		=	—	0 ^s .77	directe	"

Bei den indirecten Vergleichen kommen die Personalgleichungen mit Walbek und Argelander mit in Rechnung. Auf einen sehr großen Betrag der persönlichen Gleichung haben wir weiter oben bereits aufmerksam gemacht bei Besprechung der Längenbestimmung Göttingen-Mannheim durch Lichtsignale; ebenso große Werthe zeigten sich bei der Vergleichung zwischen Wolfers und Nehus:

1833	Oct. 7	N-W	=	0 ^s .62.
	"	8	N-W	= 0.84.

¹ Königsberger Beobachtungen, 8. Abth.

C. A. F. Peters, Beschreibung eines auf der Altonaer Sternwarte aufgestellten galvanischen Registrirapparates für Durchgangsbeobachtungen, nebst Vergleichung einiger an demselben bestimmten Personaldifferenzen mit solchen, die auf gewöhnliche Weise gefunden sind.

In Bezug auf die allmälige Entwicklung großer Personaldifferenzen bei Durchgangsbeobachtungen nach der ältern Methode finden sich interessante Beobachtungen in den Annalen der Greenwicher Sternwarte für die Jahre 1839 bis 1854. Für jeden Fundamentalstern, dessen Durchgang beobachtet ist, gibt Airy die resultirende Uhr correction und theilt die gefundenen Werthe in Gruppen, deren Grenzen zugleich die Grenzen der Beobachtungen der einzelnen Beobachter sind. Aus den Correctionen jeder Gruppe ist darauf ein Mittel genommen und dieses als für das Mittel der Beobachtungszeiten geltend angesehen. Aus der Vergleichung von Mittelwerthen, die demselben Beobachter angehören, läßt sich der Uhr gang unabhängig von den persönlichen Differenzen und mit Hilfe derselben aus den Beobachtungen der einzelnen Beobachter die Uhr correction für dasselbe Moment 0^h Sternzeit des Beobachtungstages ableiten. Die Unterschiede zwischen diesen Uhr correctionen stellen die Differenzen zwischen den Beobachtungsweisen der verschiedenen Astronomen dar, wobei natürlich die Instrumentalfehler mit großer Sicherheit bestimmt sein müssen.

Aus diesen Greenwicher Beobachtungen entnehmen wir die Jahreswerthe der persönlichen Gleichung Main-Rogerson, um zu zeigen, mit welcher Regelmäßigkeit in dieser Größe Aenderungen vorkommen können und wie nothwendig es ist, der Bestimmung dieser Correctionsgröße alle Aufmerksamkeit zuzuwenden. Aus den Durchgangsbeobachtungen nach der Aug- und Ohrmethode in den Jahren 1840 — 1854 ergaben sich für die erwähnten Beobachter die nachstehenden Werthe:

1840	M-R =	— 0 ^s .15	1844	M-R =	+ 0 ^s .18
1841		+ 0.08	1845		+ 0.20
1843		+ 0.20	1846		+ 0.26

1847	M-R =	+ 0. ^s 35	1851	M-R =	+ 0. ^s 47
1848		+ 0.37	1852		+ 0.63
1849		+ 0.39	1853		+ 0.70
1850		+ 0.45			

Daß die starke Zunahme dieser Correctionsgröße hauptsächlich in der persönlichen Gleichung von Rogerson lag, zeigt uns die Gleichung der angegebenen Werthe mit der nachstehenden Reihe, in der die Personalgleichung für die Zeit von 1846—1853 zwischen Ellis und Rogerson, ebenfalls den Greenwicher Beobachtungen entnommen, angegeben ist:

1846	Ellis-Rogerson	— 0 ^s .11	1851	Ellis-Rogerson	+ 0 ^s .36
1847		— 0.22	1852		+ 0.44
1849		+ 0.12	1853		+ 0.62
1850		+ 0.45			

Ueberraschend constant erhielt sich nach den Greenwicher Aug- und Ohrbeobachtungen der Jahre 1855—1870 die Personalgleichung Dunkin-Criswick:

1855	D-C =	— 0 ^s .03	1863	D-C =	— 0. ^s 16
56		— 0.10	64		— 0.12
57		— 0.10	65		— 0.12
58		— 0.08	67		— 0.13
59		— 0.13	68		— 0.10
60		— 0.14	69		— 0.11
61		— 0.15	1870		— 0.11
62		— 0.15			

Bessel untersuchte auch die Veränderung der Personalgleichung bei plötzlichen Erscheinungen und erhielt Resultate, die von denen bei Durchgangsbeobachtungen bedeutend abwichen, ähnlich, wie das in der besprochenen Abhandlung von Gerling angegeben ist. So erhielt Bessel bei 21

gemeinschaftlich mit Argelander beobachteten Ein- und Austritten am dunklen Mondrande:

$$B-A = - 0^s.22.$$

Seit bei Passagenbeobachtungen fast durchwegs Registrirapparate im Gebrauche sind, kommen so große persönliche Fehler nicht mehr vor, immerhin muß der Veränderlichkeit der persönlichen Gleichung Rechnung getragen werden, und dazu geben vielfältige Bestimmungen derselben das einzige Mittel. Die astronomische Commission hat denn auch vorgeschlagen, daß außer nach den gewöhnlichen Methoden möglichst oft während der Beobachtungen mit einem bequem tragbaren Apparate die absolute persönliche Gleichung der Beobachter zu bestimmen sei. Zu den gewöhnlichen Methoden gehören das eben erwähnte Verfahren von Airy, dann ein gemeinsames Beobachten eines und desselben Sternes, indem der eine Beobachter den Stern an den ersten Fäden bis zum Mittelfaden, der andere an den letzten Fäden des Passageninstruments beobachtet, und endlich eine von C. A. F. Peters und Hirsch empfohlene und schon von Schumacher auf der Altonaer Sternwarte durchgeführte Methode, nach welcher, um die Hast bei der Beobachtung desselben Sterns an den verschiedenen Fäden zu vermeiden, Rectascensionsdifferenzen zweier nahe im gleichen Parallel stehenden Sterne bestimmt werden, so zwar, daß an einem Abend der eine Beobachter den vorangehenden, der andere den nachfolgenden Stern beobachtet, welche Anordnung der Beobachtung an dem andern Abend umgekehrt wird. Für Längenbestimmungen ist es sehr wünschenswerth, daß die persönlichen Unterschiede der Beobachter durch den Stationswechsel der Beobachter eliminirt werden.

Für zwei Beobachter, die an demselben Instrumente Sterndurchgänge zu beobachten haben, wird gewöhnlich

in Folge der Verschiedenheit der Augen eine Mittelstellung des Oculars gewählt, welche beiden Beobachtern nahezu genügt. „Als Wolf, Plantamour und Hirsch im Sommer 1870 auf diese Weise ihre persönlichen Gleichungen bestimmen wollten, zeigten sich Widersprüche, die im Anfange ganz unerklärlich waren. Verschiedene Beobachtungsreihen mit verschiedenen Ocularcombinationen wurden angestellt und ergaben, daß jede ungenaue Stellung des Oculars Fehler bis zu mehrern Zehntelsekunden verursachen kann. Bei Tagesbeleuchtung und überhaupt bei völlig centraler Beleuchtung ist die fehlerhafte Ocularstellung ohne Einfluß und umgekehrt, seitliche Beleuchtung schadet nichts bei richtiger Ocularstellung, aber bei falscher Ocularstellung entstehen, je nachdem man den Reflector dreht, Differenzen bis zu einigen Zehntelsekunden. Um diesem Uebelstande abzuhelpen, wurde das Ocular leicht verstellbar gemacht und jeder Beobachter hatte es für sein Auge scharf einzustellen. Auf Sternwarten, wo Nachtmiren zur Verfügung stehen, läßt sich das einfach erreichen; die Fäden nämlich, welche man auf dem hellen Kreis, der von der Nachtmire gebildet wird, sieht und die Fäden, welche auf dem gewöhnlich matt erleuchteten Hintergrunde der Feldes sichtbar projicirt sind, werden nur dann gerade und unverrückt erscheinen, wenn das Ocular richtig steht.“¹

Auf die gleiche Erscheinung wurde Fearnley schon im Jahre 1845 aufmerksam bei Beobachtungen am Meridiankreis in Christiania, dessen Feld damals durch einen nur partiell, daher excentrisch reflectirenden Spiegelring erleuchtet

¹ Hirsch, Gradmessungsbericht für 1871, p. 109.

Détermination télégraphique de la différence de longitude entre les stations astronomiques du Righi et les observatoires de Zurich et Neuchâtel. Genève et Bâle 1871.

wurde. Die scheinbare Verschiebung des Fadennetzes nach der einen oder andern Seite, je nachdem das Ocular demselben genähert oder davon entfernt wurde, war sehr auffallend. Eine Erklärung dieser Erscheinung fand Fearnley durch folgende einfache Betrachtung:¹ Im erleuchteten Felde eines Fernrohrs muß das dunkle Bild eines Fadens in der Durchschnittslinie zweier Flächen erscheinen, deren eine die Ebene ist, welche durch den Faden und den Centralpunkt des wirksamen Reflectortheils gelegt werden kann; die andere ist diejenige gegen das Ocular feste, mit diesem also bewegliche, außerdem aber auch von der Sehweite des Auges abhängige Fläche, in welcher die durch das Ocular betrachteten Gegenstände dem Auge am deutlichsten erscheinen. Genau in diesem Sinne, auch rücksichtlich der Größe der Verschiebung treten die Wirkungen einer excentrischen Feldbeleuchtung auf. Wenn die reflectirende Fläche sehr klein ist, dann ist es nicht leicht zu beurtheilen, ob das Ocular die beste Stellung für das Auge hat, man ist daher bei der Beobachtung durch ein excentrisches Prisma dem besprochenen Fehler in hohem Maaße ausgesetzt. Als Fearnley den alten Illuminator durch einen Prismenapparat ersetzte, der Art, daß das Feld durch zwei gegenüberstehende, gleich viel excentrische Prismen erleuchtet wurde, war der alte Uebelstand beseitigt; bei der geringsten Abweichung des Oculars von der Normallage zeigen sich die Fäden doppelt, so daß die scharfe Oculareinstellung schnell und sicher ausgeführt werden kann und wenn auch die Ocularstellung bei einer Beobachtung unrichtig sein sollte, so ist doch die wahre Lage des Fadens für den Beobachter

¹ Fearnly, Gradmessungsbericht 1871, p. 110.

nicht zweifelhaft, denn sie wird durch die Mittellinie des Doppelbildes fixirt.

Da die schon durch Bruhns und Weiß und später durch Kaiser und Förster gefundenen Anomalien¹ bei Passagenbeobachtungen mit Durchgangsinstrumenten mit gebrochenem Fernrohr, wobei die verschiedenen Resultate hauptsächlich abhängig von der Kreislage des Instrumentes und der eingestellten Zenithdistanz schienen, auf die eben besprochenen Fehlerquellen zurückzuführen sind, macht die astronomische Commission besonders darauf aufmerksam, daß bei allen gebrochenen Fernröhren für eine centrische Fädenbeleuchtung gesorgt und daß das Ocular für den Beobachter immer, also auch bei Zeitbestimmungen, genau eingestellt werde. Von weitaus geringerem Belang ist die Fehlerquelle, welche aus der verschiedenen Größe der zu beobachtenden Sterne resultirt; immerhin machen es die diesbezüglichen Beobachtungen und Untersuchungen von Kaiser, Bakhuyzen und Gill² wünschenswerth, daß auch die hier auftretenden persönlichen Gleichungen bestimmt werden, zumal die nöthigen Experimente so einfacher Natur sind. Schon im Jahr 1850 hat Kaiser in Leyden einen tragbaren Apparat aufgestellt, nach welchem die absoluten persönlichen Fehler bestimmt werden sollten; wirkliche Beobachtungen mit einem solchen Apparate wurden 9 Jahre später auf der Wilnaer Sternwarte von dem Russen Gussew ausgeführt und das Centralbureau der Europäischen Gradmessung hat wesentlich nach

¹ C. v. Littrow, Längenbestimmung Dablitx-Leipzig, K. Acad. der Wissensch. 28; Längenbestimmung Wien-Berlin, K. Acad. der Wissensch. 32.

Förster, Gradmessungsbericht für 1865.

² Astron. Nachr. Nr. 2262; Monthly notices 39, p. 112.

Vierteljahrsschrift der Astron. Gesellschaft 1879, p. 408.

den Kaiser'schen Principien einen Apparat bei Tiede in Berlin ausführen lassen, der nach der Längenbestimmung Göttingen-Leyden im Juni 1867 zur Bestimmung der absoluten persönlichen Gleichung der Beobachter Albrecht, Hennekeler und Kam zum ersten Mal in Anwendung gekommen ist.¹ Ueber die wesentlichen Einrichtungen dieses Apparates gibt Prof. Förster den nachstehenden Bericht:

„Es wird ein künstlicher Stern mit Hilfe einer Lampe und einer Linse erzeugt und dieser durch Bewegung der Linse mit Hilfe eines Uhrwerks an einem längeren Drehungsarm langsam über eine matt erleuchtete Fläche, auf welcher die Fäden als schwarze Linien eingezeichnet sind, hinweggeführt. Natürlich wird die Dicke der Fäden und der Durchmesser der Sternscheibe, sowie die Geschwindigkeit der Bewegung danach bemessen, wie die Beobachtungen der Sterne angestellt werden. In dem Augenblicke, wo sich das Sternbild in Coincidenz mit dem Faden befindet, wird ein Contact geschlossen, welcher durch einen Anker ein Signal gibt. Mit einem Taster gibt der Beobachter, sobald ihm der künstliche Stern bei der Bewegung den Faden zu passiren scheint, durch einen zweiten Anker auf demselben Registrirapparate ein zweites Signal und die Differenz der Signale gibt die absolute persönliche Gleichung. Natürlich wird die Verschiedenheit der beiden Anker durch Vertauschung derselben eliminirt. Die Justirung des Apparates wird in Ruhe so vollzogen, daß der Stern durch eine sehr langsame Bewegung der Linse in Coincidenz mit dem

¹ Kaiser, sur la détermination absolue de l'erreur peronnelle dans les observations astronomiques. Amsterdam 1863.

Kaiser, Ueber einen neuen Apparat zur absoluten Bestimmung von persönlichen Fehlern bei astronomischen Beobachtungen. Amsterdam 1867.

Faden gebracht und sodann die Contactspitze auf Stromschluß gestellt wird. Die Justirung läßt sich so genau bewirken, daß kein Fehler größer als $0^s.01$ entsteht und bei Beobachtungen, die an 10 Tagen gemacht sind, hat sich herausgestellt, daß in der Justirung keine merkliche Fehlerquelle liegt. Die Beobachtung des Durchganges des Sterns durch das Fadennetz geschieht mit einer Verkleinerungslinse, vor welche man auch ein Prisma setzen kann.“

Nach ähnlichen Principien ließ Dr. Hirsch, der Director der Neuenburger Sternwarte, durch Hipp einen Apparat construiren und brachte denselben schon im Jahre 1861 in der Längenbestimmung Genf-Neuenburg in Verwendung;¹ Verbesserungen der bestehenden Vorrichtungen und auch eigene Constructionen gaben noch Hartmann,² der Pariser Astronom Wolf³ und Sande Bakhuyzen.⁴ Es ist zu bedauern, daß diese Hilfsmittel so wenig in Verwendung gekommen sind; die Apparate sind alle noch zu unbequem, um bei Stationsbeobachtungen benutzt werden zu können, und bei den tragbaren Kaiser'schen Apparaten haben sich hauptsächlich während der Längenbestimmung Leyden-Brüssel sehr große

¹ Plantamour et Hirsch, Détermination télégraphique de la différence de longitude entre les observatoires de Genève et de Neuchâtel. Genève et Bâle 1864.

² Grunert's Archiv der Mathem. und Physik. Band XXXI, p. 3.

³ Wolf, Recherches sur l'équation personnelle dans les observations des passages, sa détermination absolue, ses lois et son origine. Paris 1865.

⁴ Vierteljahrsschrift der Astron. Gesellschaft 1879, p. 414.

Vergleiche auch: Albrecht, Ueber die Bestimmung von Längendifferenzen etc., p. 13 ff.

Eine ausführliche Abhandlung über persönliche Gleichungen findet man in:

John L. E. Dreyer, On personal errors in astronomical transit observations. Dublin 1876.

Anomalien gezeigt. Vor den Beobachtungen im Herbst 1868 kam Quetelet nach Leyden, um seine persönliche Gleichung mit Kam zu bestimmen. An 4 Tagen wurden 78 Sterne beobachtet und im Mittel gefunden $Q-K = + 0^s.602$. Mit einem der Apparate von Kaiser, wobei die Bewegung des Sternes im Fernrohre des Meridiankreises getreu nachgeahmt wurde, fanden die beiden Herren als persönliche Gleichung nur $+ 0^s.115$. Unmittelbar nach dem Abschluß der Beobachtungen reiste Kam nach Brüssel, um dort die Bestimmung der persönlichen Gleichung zu wiederholen und am ersten Tage (13. Sept.) fand sich aus 28 Sternen $Q-K = + 0^s.36$, dagegen im Mittel aus 176 Sternbeobachtungen, die an 6 Tagen angestellt sind, $Q-K = + 0^s.405$. In neuerer Zeit gelang es Hipp, den Hirsch'schen Apparat in wesentlich verbesserter Form herzustellen und Frankreich und Spanien haben denn auch solche Instrumente bezogen.

Bei den Beobachtungen der „Coast Survey“ ist in neuerer Zeit für die Bestimmung der persönlichen Gleichung das von Sägmüller construirte „split eye-piece“¹ in Gebrauch, worüber im Gradmessungsbericht für 1878 die nachstehende Beschreibung gegeben ist: „This eye-piece „consists of two prisms cemented together, by means of „which the field of view of the telescope is divided into two „fields of less than half the illumination of the original field, „the two observers tapping the transit of a star over all „the threads. The same phenomenon is here observed and „recorded under absolutely the same circumstances. The

¹ Description and use of the personal equation or split eye-piece, constructed by G. N. Sægmüller, mechanician of the Coast Survey office. Gradmessungsprotocolle für 1878, p. 120.

„lower right angled prism receives the rays from the tele-
 „scope and reflects them from its back surface throwing
 „them upward into the second prism and against the two
 „sides forming the upper edge and close to it. The angles
 „of the second prism are nearly 60° . By reflection on the
 „two sides of this prism and after refraction the split
 „bundles of rays pass into the eye-tubs where, near the
 „surface of the prism, they are collected by a lens and
 „pass on to the ordinary or Huygenian eye-piece combi-
 „nation. Each observer will focus his own eye-piece; this
 „of course is in no way connected with the sidereal focus
 „of the diaphragm in the transit telescope. To make obser-
 „vations for personal equation, take out the ordinary or
 „prismatic eye-piece and insert the split eye-piece and
 „adjust its focus. The local circuit containing the obser-
 „vers keys and the clock or chronometer must be divided
 „to break for each of the two pens of the chronograph.
 „Each observer has concealed in his hand one of the small
 „break circuit keys, by means of which he registers the
 „transits of a star over every thread. After observing a
 „few stars, the observers may exchange eye-pieces, but
 „not their observing keys.“

Bei allen ausgeführten Längenbestimmungen der Euro-
 päischen Gradmessung ist der persönlichen Gleichung der
 Beobachter Rechnung getragen worden und in den meisten
 Fällen hatten die Beobachter die Stationen zu wechseln;
 immerhin ist nicht zu verkennen, daß der größte Theil
 der noch übrig bleibenden Fehler in den Resultaten der
 Unsicherheit der Bestimmung dieser Correctionsgröße zuzu-
 schreiben ist und um bei der Bestimmung der Längen-
 differenz von dem Einflusse der persönlichen Gleichung ganz
 befreit zu sein, empfiehlt Faye die versuchsweise Anwen-

dung des nachfolgenden Vorschlages: ' Man bewirke in bald auf einander folgenden Zeitintervallen photographische Aufnahmen der Sonne und der Fäden des Fernrohres, bei welchen durch eine selbstthätige Vorrichtung der genaue Zeitpunkt der Aufnahme auf einem Registrirapparate fixirt wird. Alsdann messe man mit aller Schärfe mittelst eines Mikroskopapparates auf den photographischen Bildern die Entfernungen der Fäden vom Sonnenrande und leite so den Uhrstand ab. Der Einfluß der Instrumentalfehler soll, soweit die Collimation in Betracht kommt, durch Beobachtungen in beiden Lagen des Fernrohres eliminirt werden, der Betrag der Neigung ist mit Hilfe eines Niveau zu ermitteln und um das Azimut zu bestimmen, wäre nur nöthig, die photographischen Aufnahmen der Sonne durch fernerweite photographische Aufnahme einer Mire, deren absolutes Azimut genau bestimmt ist, zu ergänzen. Größere Versuche haben in dieser Richtung noch nicht stattgefunden und es ist auch sehr fraglich, ob in dem Faye'schen Vorschlage nicht ebenso große und schwierige Fehlerquellen versteckt liegen, als in der üblichen Methode der Zeitbestimmung durch gewöhnliche Meridianbeobachtungen vorkommen. Auch würde es schwer halten, die Telegraphenleitungen, wie es hier absolut erforderlich wäre, auf genügend lange Zeit für die Messungen am Tage zur freien Verfügung zu bekommen.

Die zu erreichende Genauigkeit der Resultate richtet sich natürlich nach der Güte der benutzten Instrumente und Uhren, sowie nach der Ausdehnung und Anordnung der Beobachtungen. Daß nicht immer gleichartige Instrumente benützt worden sind, wurde bereits erwähnt und

¹ Anhang zu dem Generalbericht für 1874, p. 115.

es unterliegt keinem Zweifel, daß die grossen mittleren Fehler in den Längenbestimmungen mit Leyden und Göttingen zum größten Theil den instrumentalen Ungleichheiten zuzuschreiben sind. — Als Zeitmesser wurden meistens Pendeluhren benützt; die astronomische Commission gestattete auch den Gebrauch von halbe Secunden schlagenden Chronometern, die denn hauptsächlich bei den russischen und schweizerischen Längenbestimmungen in Anwendung kamen und meist mit sehr gutem Erfolge, besonders als es Hipp gelungen war, einen geeigneten elektrischen Contactapparat herzustellen. „Notre chronomètre électrique,“ sagt Hirsch, „dont M. Plantamour s’est servi dans toutes ses opérations de longitudes, lui a rendu continuellement les meilleurs services. Avec une marche très régulière — les variations moyennes d’un jour à l’autre étant comprise, entre 0^s.12 et 0^s.18 — qui ne le cède certes pas à celle des pendules de voyages, son enregistrement est d’une grande sécurité; si l’on tien compte en outre de l’extrême facilité de son transport et de son installation comparé aux embarras causés par celle d’une pendule, il semble incontestable, que pour les stations astronomiques en dehors des observatoires fixes, ces chronomètres sont préférables aux pendules enregistreurs.“

Zu einem Abendresultat verlangt die astronomische Commission eine Zeitbestimmung aus mindestens einem Polstern und 4—6 Zeitsternen in jeder Lage der Instrumente und nach den Erfahrungen aus den Längenbestimmungen bis zum Jahre 1864 konnte man aus 8 Beobachtungsabenden solcher Art eine wahrscheinliche Unsicherheit des Endresultates nicht größer als 0^s.02 erwarten; für weniger günstige Umstände wird ein wahrscheinlicher Fehler von 0^s.05 noch als zulässig erachtet. Die ein-

zelenen Tagesresultate werden selten von der nämlichen Güte sein, da schon die Anzahl der beobachteten Pol- und Zeitsterne an den einzelnen Abenden eine verschiedene sein kann und es ist demnach nöthig, aus den verschiedenen Beobachtungsdaten für die Theilresultate Gewichte abzuleiten, nach welchen dann das definitive Ergebnis und dessen mittlerer Fehler bestimmt wird. Eine der einfachsten und umfassendsten Formeln gibt v. Oppolzer für die Bestimmung der Längendifferenz Leipzig-Wien.¹

Wenn nun auch nicht allen Längenmessungen ein so ausgedehntes Beobachtungsschema zu Grunde lag, wie wir es auf Seite 47 angegeben, so sind doch bei dem weitaus größten Theile der Bestimmungen größere Reihen von Sternen beobachtet worden, als absolut erforderlich war, und ein Blick auf die Zusammenstellungen der publicirten Beobachtungen² zeigt denn auch, daß ein wahrscheinlicher Fehler bis 0^s.03 sehr selten vorkommt und im Mittel sich nahe auf 0.015 stellt. Die größten gerechneten wahrscheinlichen Fehler der Längenbestimmungen, die seit Bestehen der Europäischen Gradmessung ausgeführt worden sind, finden sich bei:

Leyden-Brüssel	$\pm 0^s.027^3$,	bestimmt im Jahre	1868
Zürich-Righi	$\pm 0.028^4$	„ „ „	1867

¹ C. Bruhns, Neue Bestimmung der Längendifferenz zwischen der Sternwarte in Leipzig und der neuen Sternwarte auf der Türken-schanze in Wien, p. 71.

² Anhang zu den Generalberichten der Europäischen Gradmessung für 1875 und 1880.

³ Annalen der Leydener Sternwarte II, p. 222.

Plantamour, Wolf et Hirsch, Déterm. télégr. de la différence de longit. entre la station astron. du Righi et les observatoires de Zurich et Neuchâtel, Genève et Bâle 1871.

Leipzig-Göttingen $\pm 0.030^1$, bestimmt im Jahre 1867.

Leyden-Göttingen ± 0.022 , " " " 1867.

Göttingen-Dangast ± 0.033 , " " " 1867.

Es ist selbstverständlich, daß die wirkliche Unsicherheit einer Längenbestimmung nicht unbedingt innert der Grenze liegen muß, die durch den mittlern oder wahrscheinlichen Fehler bestimmt wird, da in den Beobachtungsoperationen noch irgend welche constante Fehler verborgen sein können, die auf die Bildung des wahrscheinlichen Fehlers keinen Einfluß ausüben. So erklären sich denn die beträchtlichen Correctionen, welche bei einer Ausgleichung des ganzen Systems für einzelne Längen sich ergeben; es kommen z. B. für Bregenz-Wien und Paris-Straßburg Correctionen, die $\frac{1}{15}$ Zeitsecunde erheblich überschreiten, trotzdem die gerechneten wahrscheinlichen Fehler unter dem festgesetzten Maximum liegen. Auch bei Breitenbestimmungen sind derartige Anomalien bekannt; so gibt Prof. Bruhns aus den Beobachtungen von Albrecht und Löw für die Polhöhe in Durlach nach den zwei allgemein üblichen Methoden durch Messung von Zenithdistanzen und durch Beobachtungen im ersten Vertical zwei um eine ganze Bogensecunde abweichende Resultate, während die wahrscheinlichen Fehler für beide nach der Rechnung sich auf $\pm 0''.04$ stellen. Es ist:

Nach der Methode der Zenithdistanzen

$$\varphi = 48^\circ 59' 57'' 50 \pm 0''.04.^2$$

Nach der Bessel'schen Methode $\varphi = 48 \ 59 \ 56 \ 49 \pm 0.04$.

Am unsichersten sind natürlich diejenigen ältern Längenbestimmungen, bei denen weder ein Ausgleichen der Stromstärke noch ein Wechsel der Beobachter stattgefunden hat

¹ C. Bruhns, Astron. geodät. Arbeiten 1867, 69 und 1872.

² C. Bruhns, Astronomisch geodätische Arbeiten im Jahre 1871.

und die meistens nur auf wenige Beobachtungsabende ausgedehnt waren. Zwischen einzelnen Stationen hat sich eine Controlle durch vollständig wiederholte Beobachtungen ergeben, so zwischen:

Paris-Greenwich, ausgeführt 1854 (siehe Seite 38) und 1872¹ von J. E. Hilgard und F. Blake, Astronomen der Coast Survey.

Paris-Lyon, ausgeführt 1875² und 1877, letztere Messung ist noch nicht reducirt.

Paris-Brest, ausgeführt 1863³ unter der Direction von Leverrier und 1872⁴ von den Astronomen der Coast Survey.

Paris-Berlin }⁵ wurde 1877 auf Wunsch des Herrn General
Paris-Bonn } Bayer gleichzeitig vom Preußischen geodätischen Institut und dem Bureau des longitudes mit den an beiden Instituten gebräuchlichen Instrumenten und Methoden bestimmt. Deutscherseits beobachteten Albrecht, Richter und Löw, vom Bureau des longitudes: Loewy, Leclert und de Bernadière.

Mannheim-Bonn, ausgeführt 1871 und 1876.⁶

Wien-München,⁷ wurde von 1874—76 fünfmal abgeleitet, theils direct, theils in der Verbindung:

¹ Hilgard, Transatlantic longitudes. Washington 1877.

² Annales de l'observatoire de Paris, tome 9.

³ " " " " " " 8.

⁴ Hilgard, Transatlantic longitudes.

⁵ Französischerseits publicirt in Comptes rendus de l'academie des sciences 1879.

Deutscherseits publicirt in Astronomisch geodätische Arbeiten für 1877. Berlin 1879.

⁶ C. Bruhns, Astron.-geod. Arbeiten 1873 und Valentiner, Bestimmung der Längendiff. Mannheim-Straßburg-Bonn. Berlin 1877.

⁷ Die Resultate sind publicirt im Gradmessungsbericht 1878 und 1879 und Astron. Nachrichten Nr. 2132 und 2265.

Wien-München-Mailand-Padua.

Wien-München-Straßburg und

Wien-München-Greenwich.

Wien-Berlin¹ 1864 und 1879.

Wien-Leipzig² 1864 und 1875.

Leipzig-Göttingen³ 1867 und 1874.

Eine vorzügliche Controlle gestatten die Dreiecks- und Polygonschlüsse, und da nach einem Vorschlage der astronomischen Commission wo möglich alle Punkte wenigstens mit drei andern zu verbinden sind, hätten gleichzeitige Operationen zwischen je drei Stationen, wie 1865 zwischen Stockholm, Christiania und Kopenhagen und 1866 in der Schweiz zwischen Rigi, Zürich und Neuenburg, 1870 zwischen Simplon, Mailand und Neuenburg und 1872 zwischen Zürich, Pfänder und Gäbris ausgeführt worden sind, mit Leichtigkeit und ohne besondern Zeitverlust die gewünschten Proben ergeben, falls die gleichzeitig herrschenden meteorologischen Elemente an den verschiedenen Stationen correspondirende Beobachtungen gestatten und keine localen Störungen zu befürchten sind. Daß vollständig unabhängige Beobachtungen für solche Dreiecksschlüsse wünschenswerther sind, ist selbstverständlich. Das französische Längennetz entbehrt diese Controlle fast ganz, indem mit wenigen Ausnahmen die Längenbestimmungen radial von Paris aus vorgenommen wurden, doch werden nun, um den an Conferenzen mehrfach ausgesprochenen Wünschen zu genügen, die nöthigen Bestimmungen nachgeholt. Die in den ersten

¹ Littrow, Denkschriften der K. Acad. der Wissensch. 28 und Gradmessungsbericht 1879.

² Littrow, Denkschriften der K. Acad. der Wissensch. 32 und C. Bruhns Verh. der Sächs. Gesellsch. der Wissensch. XII, Nr. 4.

³ C. Bruhns, Astron.-geod. Arbeiten 1867, 69 und 72; und Albrecht, Astron.-geod. Arbeiten 1873 und 74.

Conferenzen der Europäischen Gradmessung geplanten Längenbestimmungen sind nun größtentheils zum Abschluß gekommen; Deutschland ist mit den Messungen nahezu fertig. Wünschenswerth sind einige Anschlußlinien an Rußland, und die Neubestimmung Königsberg-Berlin und Königsberg-Breslau; Oesterreich hat alle Messungen erledigt und besitzt nun zwischen seinen Punkten erster Ordnung ein ausgezeichnetes Längennetz von 18 unabhängigen Längenbestimmungen und gegen das Ausland mit 16 Orten einen Anschluß. Die Schweiz hat bis auf die französischen Anschlußlinien bereits die Publikationen ihrer Arbeiten zu Ende geführt; zwischen den 8 inländischen Stationen bestehen 8 unabhängige Längenverbindungen und gegen Frankreich, Italien, Oesterreich und Deutschland wurden zusammen 8 Anschlußlinien ausgeführt. In Italien dürfte wohl noch Palermo-Pachino gemessen werden, auch wäre ein weiterer Anschluß an das französische Netz, im Süden durch Palermo-Carthage und im Norden durch Mailand- oder Genua-Marseille geboten. In Spanien sind außer Paris-Biarritz-Madrid noch gar keine telegraphischen Längenbestimmungen ausgeführt; doch dürften in diesem Lande, wie auch in Portugal, da für die nöthigen Hilfsapparate schon längst gesorgt ist, in nächster Zeit diese wichtigen und unerläßlichen Arbeiten in Angriff genommen werden, und es ist zweifelsohne, daß durch eine Cooperation mit den französischen Astronomen auch hier die nöthigen Anschlüsse mit Biarritz, Varennes, Carcassone zur Ausführung kommen. Frankreich hat in Algier bereits 7 Punkte erster Ordnung bestimmt, von denen die Station Alger mit allen andern und im Jahre 1874 auch mit Marseille und Paris¹

¹ Mit Benützung eines im Observatorium in Marseille aufgestellten Relais konnte zwischen Paris und Alger ein directer Signal-

verbunden ist. Wie p. 30 erwähnt wurde, ist bereits eine Verbindung zwischen Spanien und Algier vorhanden, indem im Jahre 1879 Tetica mit M'Sabiha und M'Sabiha mit Alger mittelst Lichtsignalen verglichen worden sind. Im Norden Europas sind Leyden-Greenwich, Kopenhagen-Lund und Christiania-Bergen theils schon in Angriff genommen, theils projectirt, so daß nun in kurzer Zeit das geplante Längennetz der Europäischen Gradmessung fertiggestellt sein wird.¹

So lange aus den Längenoperationen, zumal für Hauptstationen, keine endgültige Resultate abgeleitet sind, können Ausgleichungen des vorhandenen Netzes keine definitiven Correctionsgrößen ergeben, dagegen sind sie wohl im Stande, etwaige schwache Glieder der Kette aufzudecken und ein Urtheil über die Brauchbarkeit der Messungen zu gestatten. Die größte Schwierigkeit in den Ausgleichungsrechnungen bietet die Bestimmung der den einzelnen Längenbestimmungen zukommenden Gewichte, da es kaum möglich ist, den in dem langen Zeitraume veränderten Beobachtungsmethoden und den verschieden gewählten Anordnungen

wechsel stattfinden und die Längenbestimmung wurde mittelst Registriren der Sternbeobachtungen und der Zeichenwechsel nach demselben Programme ausgeführt, das für die Ausschlußbeobachtungen mit Oesterreich maßgebend war. Unmittelbar vor und nach den Längenoperationen wurden die persönlichen Gleichungen zwischen den Beobachtern Loewy, Stephan und Perrier abgeleitet. (Annales de l'observatoire de Marseille, I.)

¹ Eine sehr übersichtliche Darstellung des (allerdings nicht vollständigen) Längennetzes hat Oppolzer durch eine seinem Referate über den Stand der Längenbestimmungen (Gradmessungsbericht für 1877) beigefügte, von G. F. Kühnert ausgeführte Karte gegeben. Eine vollständige Zusammenstellung findet man in der Karte von Ferrero, die sämmtliche astronomische Punkte der Europäischen Gradmessung enthält.

mit Ausschluß aller Willkür Rechnung zu tragen. Bis heute fehlen noch die Reductionen einzelner der wichtigsten Längenbestimmungen Frankreichs, Italiens und der Schweiz, auch dürften die deutsch-russischen Anschlüsse noch wesentliche Aenderungen hebeiführen. Für die Behandlung des bis jetzt zugänglichen Materials verweise ich auf das Referat von Prof. C. Bruhns über den Stand der Längenbestimmungen im Anhang III des Gradmessungsberichtes für 1880¹ und begnüge mich mit der Bemerkung, daß der wahrscheinliche Fehler einer Längendifferenz aus den übrigbleibenden Fehlern auf 0^s.03 zu stehen kommt.

Um einen Anschluß der Hauptpunkte der amerikanischen Küstenvermessung an europäische Observatorien zu erlangen, wurden von den Amerikanern gleich, nachdem die Kabellegung gelungen war, Messungsversuche angestellt, die aber erst im Jahre 1866 zu Resultaten führten, als die „Coast Survey“ eine Expedition ausrüstete, die unter der Leitung von Benj. Apthorp Gould eine Längenbestimmung zwischen Hearts-Content (Newfoundland), Valencia (Irland), Calais (Maine) und Greenwich ausführen sollte.² In Valencia kamen die Beobachter Gould und Mosman im October an, 8 Wochen vorher hatte es ohne Ausnahme jeden Tag geregnet und während der 7 Wochen ihres Aufenthaltes waren nur 4 Tage, an denen kein Regen fiel und in der ganzen Periode, während welcher die Instrumente aufgestellt waren, gab es nur eine einzige wirklich klare Nacht. Gewöhnlich mußten die Beobachtungen zwischen Regenschauern ausgeführt werden und öfters ereignete es sich,

¹ Herr Prof. Albrecht publicirte Ausgleichungsergebnisse in Astron. Nachr. Nr. 2132 und 2265.

² The Transatlantic Longitude, as determined by the Coast Survey Expedition of 1866. A Report to the Superintendent of the U. S. Coast Survey. By Benj. A. Gould. Washington 1869.

daß die Beobachter mitten im Notiren von Sterndurchgängen durch plötzliche starke Regengüsse gestört wurden. Nicht viel bessere meteorologische Elemente herrschten in Newfoundland, wo Dean und Goodfellow am 20. Sept. in Heart's Content anlangten, aber bis zum 16. Oct. weder Sonne, Mond noch Sterne sahen und somit bis zu dieser Zeit keine Berichtigung der Instrumente und Uhren vornehmen konnten. In Calais beobachteten Chandler und Davidson, später Boutelle. Der schlechte Zustand der Linie Newfoundland-Maine machte die Beobachtungen überaus schwierig; trotzdem 4 Relais eingeschaltet waren, gelang eine directe Verbindung erst, als in der Nacht auf den 11. Dez. ein starker Frost die Leitung in eine vorzügliche Isolation versetzt hatte. Infolge der großen Meridian-differenzen mußte von der sonst in Amerika üblichen Methode der Vergleichung der Uhren durch correspondirende Beobachtungen abgesehen werden; auch konnte ein Beobachterwechsel nicht stattfinden, dagegen wurden Untersuchungen über die persönliche Gleichung vor und nach der Expedition für alle Beobachter ausgeführt mit Ausnahme von Boutelle und dem „Standard Observer“ in Greenwich, Dunkin, wodurch leider in den Hauptresultaten eine erhebliche Unsicherheit geblieben ist, die später eine Wiederholung dieser fundamentalen Operation nothwendig machte. Für die Uhrvergleichen durch Signale erwiesen sich die gewöhnlichen elektromagnetischen Apparate als ungenügend. „When the Valencia clock was breaking circuit during an eighth part of every second, a permanent deflection only was observed at Newfoundland“; man benützte zum Beobachten der Signale Thomson's Galvanometer und übertrug diese Beobachtungen auf einen gewöhnlichen Chronographen, wodurch natürlich besondere Fehler-

bestimmungen sich nothwendig machten. Zwischen Valencia und Hearts-Content konnten fünf Tagesresultate erhalten werden, zwischen Hearts-Content und Calais vier und zwischen Greenwich und Valencia wurden nur an zwei Abenden genügende Uhrvergleichungen erhalten, doch konnte diese Längendifferenz aus den früheren Beobachtungen Airy's ergänzt werden. Als das französische Kabel von Brest nach Duxburg (Mass.) gelegt war, ergab sich ein Mittel, das Resultat der Gould'schen Expedition zu prüfen, sobald die Kabellegung zwischen Brest und Greenwich beendigt war. Die Längenbestimmung Brest-Duxburg wurde denn auch im Jahre 1870 von G. W. Dean¹ bestimmt und zwei Jahre darauf unter Benützung der Mittelstation St. Pierre von J. E. Hilgard² wiederholt, woran sich die Bestimmung Brest-Greenwich, Brest-Paris und Paris-Greenwich schloß, selbstverständlich unter genauer Berücksichtigung der obwaltenden persönlichen Gleichungen der Beobachter. Auch bei diesen Operationen kam für die große Linie Brest-St. Pierre Thomson's Galvanometer in Anwendung, während für die übrigen Strecken der Signalwechsel auf die gewöhnliche Weise stattfand.

Weitere große Anschlußoperationen mit Greenwich wurden in den Jahren 1878 und 1879 unter der Leitung von F. M. Green unter Benützung des Südatlantischen Kabels zwischen Lissabon und Brasilien ausgeführt und bereits ist die Längendifferenz Greenwich-Lissabon reducirt.³ Die vollständigen umfangreichen Beobachtungsergebnisse der Expedition wird Commandant Green demnächst in seinem Berichte publiciren. —

¹ U. S. Coast Survey report for 1870.

² U. S. Coast Survey report for 1874. Appendix Nr. 18.

³ The Observatory, (S. 3, 1880) p. 455.

Im Folgenden sind die bis jetzt ausgeführten Längenbestimmungen tabellarisch nach den Staaten in alphabetischer Reihenfolge zusammengestellt. Die Anschlußlinien für die verschiedenen Länder sind nur einmal angeführt; man sehe für dieselben die Längenbestimmungen beider Staaten nach, in denen die betreffenden Stationen liegen. In der 4. Colonne sind die Resultate mitgetheilt, soweit die Reductionen zu einem Abschlusse geführt sind; in der letzten Colonne sind die Punkte genau bezeichnet, auf welche sich die Längendifferenzen beziehen. Bei Wien bedeutet:

T = Türkenschanze.

L = Laaerberg.

Polyt. = Polytechnikum.

Für die Publicationen der einzelnen Bestimmungen ist auf Anhang III des Gradmessungsberichtes vom Jahre 1880 zu verweisen. —

Land	Nr.	Stationen	Längen- differenz in Zeit	Jahr	Beobachter	Bemerkungen
<i>Baden</i>	1a	Mannheim-Bonn	+ 5 ^m 27.18	1871	Albrecht, Löw	Mannheim: Dreieckspunct auf d. Sternw.; Bonn, Leip- zig: Centr. d. Hauptpfel. Straßburg: Pfeiler in der [Citadelle.
	1b	Bonn	+ 5 27.24	1876	Valentiner, Löw, Richter	
	2	Leipzig	- 15 43.48	1870	Albrecht, Löw	
	3	Straßburg	+ 2 45.79	1876	Valentiner, Löw, Richter	
<i>Bayern</i>	4	München-Bregenz.	+ 7 19.84	1874	v. Orff, v. Oppolzer	München: Trigon. Punct [der Sternwarte. Greenwich: Transit Cercle.
	5	Greenwich	+ 46 26.29	1876	v. Orff, Nahlick, Schramm	
	6	Leipzig	- 3 7.94	1873	Seeliger, Weineck	
	7	Mailand	+ 9 40.15	1875	v. Orff, Celoria	
	8	Padua	-	1875	v. Orff, Lorenzoni	
	9	Prag (Dablitz)	- 11 25.83	1874	v. Orff, Anton	
	10	Straßburg	+ 15 21.42	1875	v. Orff, Schur	
	11a	Wien	- 18 55.07	1874	v. Orff, v. Oppolzer	
	11b	Wien	55.09	1874	v. Orff, Anton	
	11c	Wien	55.11	1875	v. Orff, v. Steeb	Wien: Türkenschanze.
	11d	Wien	54.87	1875	v. Orff, Kuhnert	
11e	Wien	55.04	1876	v. Orff, Nahlik		
<i>Belgien</i>	12	Brüssel-Berlin	- 36 6.5	1857	Bruhns, Quetelet	Brüssel: Passageninstr. Leyden: Spitze d. großen [Drehkuppel.
	13	Greenwich	+ 17 28.9	1853	Bouvy, Dunkin	
	14	Leiden	- 0 27.49	1868	Quetelet, Kam	
<i>Dänemark</i>	15	Copenhagen-Altona	+ 10 32.56	1863	Peters, Lesser	Copenh: Neue Sternwarte [Pfeiler im östl. Me- ridianzimmer.
	16	Christiania- [Stockholm	-	1865	Schjellerup, Fearnley, Lindhagen	
	17	Lund	-	1879	Thiele, Duner	
<i>Frankreich</i>	18	Alger-Biskra	- 10 42.67	1877	Perrier, Bassot	Alger: Colonne Voirol.

19	Alger-Bône	—	18 ^m 51.39	1876	Perrier, Bassot	Meridianpfeiler.
20	Carthage	—	29 6.08	1878	Perrier, Defforges	
21	Géryville	+	8 8.76	1878	desgl.	
22	Laghouat	+	0 40.21	1877	Perrier, Bassot	
23	Marseille	+	9 23.22	1874	Lœwy, Stephan	Marseille: Meridiankreis.
24	M'Sabiha	—	—	1879	Perrier, Bassot	
25	Nemours	+	19 34.95	1876	desgl.	
26	Brest-Greenwich	+	17 57.59	1872	Blake, Criswick	
27	Lyon-Marseille	—	—	1877	Perrier, Stephan	
28	Puy de Dôme	—	—	1877	Perrier, Bassot	
29	Paris-Alger	—	2 50.37	1874	Lœwy, Perrier	
30	Berlin	—	44 13.99	1877	Lœwy, Le Clerc	Berlin: Centrum d. Sternw.
31	Berri-Boui	+	0 6.51	1856	Le Verrier, Rozet	Berri-Bouy: Pfeiler d. Meridianinstr.
32	Biarritz	+	15 34.48	1863	Le Verrier, Lepissier, Merino	Biarritz: Phare neuf.
33	Bonn	—	19 2.28	1877	Le Clerc, de Bernadière	
34	Bregenz	—	29 45.29	1874	Lœwy, v. Oppolzer	Bregenz: Trigon. Punkt.
35 ^a	Brest (Tour St. Louis)	+	27 18.49	1863	Le Verrier, Folain, Lepissier	
35 ^b	Brest	+	27 18.53	1872	Blake, Folain	
36	Carcassonne	—	0 2.72	1864	Villarceau, Folain	
37	Dunkerque	—	0 8.67	1863	Le Verrier, Lepissier, Folain	Dunkerque: observatoire.
38 ^a	Greenwich	+	9 20.51	1854	Faye, Dunkin	
38 ^b	Greenwich	+	9 21.00	1872	Blake, Folain	
39	Le Havre	+	8 54.64	1854	Le Verrier, Lepissier	
40 ^a	Lyon (Fourvière)	—	9 55.47	1865	Villarceau, Folain	Havre: westl. Glockenth.
40 ^b	Lyon (St. Genis-Laval)	—	—	1877	Perrier, Bassot	[von Notre dame.
41	Marennnes	+	13 46.46	1863	Folain, Barbier	Marennnes: Glockenthurm.
42	Marseille	—	12 13.62	1874	Lœwy, Stephan	Marseille: Meridiankreis.
43	Nantes	+	15 32.84	1863	Le Verrier, Lepissier, Folain	Nantes: Südthurm der
44	Puy de Dome	—	—	1876	Perrier, Bassot	[Cathedrale.
45	Rodez	—	0 56.21	1864	Villarceau, Folain	

Land	Nr.	Stationen	Längen- differenz in Zeit	Jahr	Beobachtungen	Bemerkungen
<i>Frankreich</i>	46	Paris-Straßburg	— 21 ^m 43.56	1862	Villarcéau, Le Verrier, Lepissier	Straßburg: Pfeiler auf d. Südwestbastion der Citad.
	47	Talmay	— 12 24.59	1863	Villarcéau, Folain	Talmay: Meridianinstr.
	48	Wien	— 56 0.22	1873	Löwy, v. Oppolzer	Wien: Türkenschanze, Normalp.
<i>Italien</i>	49	Mailand-Padua	— 10 43.23	1875	Lorenzoni, Celoria	Padua: Mauerquadrant;
	50	Padua-Genua-Neapel	—	1875	Celoria, Lorenzoni, Lazagna, Nobile	[Mailand: groß. Thurm.
	51	Rom	—	1879	Celoria, Respighi	
	52	Wien (Türkenschanze)	— 28 35.25	1875	v. Oppolzer, Celoria	Neapel: Centr. d. Sternw.
	53	Neapel-Palermo	— 3 35.82	1869	Nobile, Tachini	Palermo: Meridiankr.
	54	Rom	+ 7 6.25	1869	Fergola, Secchi	Rom: Meridiankreis.
<i>Oesterreich</i>	55	Czernowitz-Jassy	— 6 39.76	1875	Kühnert, Capitaneanu	
	56	Krakau	—	1875	Kühnert, Schramm	
	57	Lemberg	—	1875	desgl.	
	58	Krakau-Budapest	—	1877	Nahlik, Kalmár	
	59	Lemberg	—	1875	desgl.	
	60	Kremsmünster-Bregenz	—	1874	Gruber, v. Steeb	
	61	Krakau	—	1874	Gruber, Schramm	
	62	Pola	—	1873	Palisa, Anton	
	63	Pola - Bregenz	—	1874	v. Steeb, Gruber	
	64	Budapest	—	1878	Kalmár, Palisa	
	65	Ragusa	—	1876	Nahlik, v. Steeb, Palisa	
	66	Prag-Krakau	—	1874	Schramm, Anton	

<i>Oesterreich</i>	67	Prag - Kremsmünster					Schramm, Anton	Prag: Dabltitz, trigon. [Punkt; Leipzig, Centr. Wien: Laaerberg. Bregenz: Trigon. Punct. Greenwich: Transitcircle.	
	68	Leipzig		—	+ 8	17.83	Weiß, Bruhns		
	69	Pola		—	—	—	Gruber, Schramm		
	70a	Wien (L)- Berlin		+ 12	—	1.34	Weiß, Förster		
	70b	(T) Berlin		+ 11	—	46.30	Kühnert, Becker		
	71	(T) Bregenz		+ 26	—	14.79	Palisa, Tinter		
	72	(T) Budapest (Schwabenberg)		—	—	—	Nahlik, Kalmár		
	73	(T) Czernowitz		—	—	—	v. Steeb, Kühnert		
	74	(T) Fiume		—	—	—	Herr, Gannahl		
	75	(T) Greenwich		+ 65	—	21.21	Kühnert u. Anton, Nahlik u. Schramm		
	76	(T) Krakau		—	—	—	Anton, Schramm		
	77	(Polyt.) Kremsmünster		—	—	—	Herr, Karlinski		
	78a	(L) Leipzig		+ 16	—	2.23	Weiß, Bruhns		
	78b	(T) Leipzig		+ 15	—	47.18	v. Steeb, Weinek		
	79	(T) Lemberg		—	—	—	Anton, Nahlik		
	80	(T) Padua		+ 17	—	52.02	v. Oppolzer, Lorenzoni		
	81	(T) Pola		+ 9	—	58.04	v. Oppolzer, Palisa		
	82	Prag (Dabltitz)		—	—	—	Anton, Schramm		
	83	Pulkowa		—	—	—	Anton, Sawitzki		
	84	Ragusa		—	—	—	Nahlik, v. Steeb, Palisa		
	85	(T) Straßburg		+ 34	—	16.54	v. Steeb, Schur		
	86	Warschau		—	—	—	Anton, Sawitzki		
	87	(T) Wien (L)		—	—	—	v. Steeb, Nahlik		
	<i>Preußen</i>	88	Altona-Bonn		+ 11	—	23.03		Albrecht, Löw, Richter
		89	Göttingen		—	—	—		Peters, Klinkerfues
		90	Helgoland		+ 8	—	14.41		Albrecht, Löw, Richter
		91	Kiel		—	—	—		Peters, Kampf
		92	Kopenhagen		—	—	—		Peters, Lesser

Land	Nr.	Stationen	Längen- differenz in Zeit	Jahr	Beobachter	Bemerkungen
Preußen	93	Altona-Schwerin	- 5 ^m 54.56	1858	Peters, Paschen, Pape	Schwerin: Observ. d. Landesvern., Steinpfeiler.
	94	Altona-Wilhelmshafen	+ 7 11.13	1878	Löw, Richter	Wilhelmsh.: Meridiankr.
	95	Berlin-Altona	+ 13 48.51	1878	Albrecht, Löw, Richter	Berlin: Centrum.
	96	Bonn	+ 25 11.60	1877	desgl.	Centrum der Sternw.
	97	Göttingen	+ 13 48.56	1874	Löw, Richter	
	98	Berlin-Greenwich	- 53 34.89	1876	Becker, Nahlik	
	99	Königsberg	- 28 24.21	1865	Tiele, Romberg	
	100	Leipzig	+ 4 0.89	1864	Bruhns, Förster	
	101	Lund	+ 0 49.89	1868	Valentiner, Bäcllund	Centrum der Sternw.
	102	Paris (Montsouris)	- 44 14.10	1877	Albrecht, Richter	desgl.
	103	Rugard	- 0 12.42	1872	Albrecht, Löw	
	104	Straßburg	+ 22 30.23	1876	Albrecht, Richter	Rug.: Trigon. Punct.
	105	Bonn-Greenwich	+ 28 23.31	1864	Forsch, Zylinsky, Tiele	Straßburg: Pfeiler d. Cit.
	106	Leyden	+ 10 26.96	1870	Albrecht, Valentiner	
	107	Leipzig	- 21 10.69	1864	Forsch, Zylinsky, Tiele	
	108	Newport	+ 17 21.46	1864	desgl.	
	109	Paris (Montsouris)	+ 19 2.47	1877	Albrecht, Löw, Richter	Montsouris: Pfeiler im
	110	Straßburg	+ 2 41.45	1876	Valentiner, Löw, Richter	[westl. Meridiansaal.
	111	Wilhelmshafen	- 4 11.90	1878	desgl.	Wilhelmsh.: Meridiankr.
	112	Breslau-Leipzig	+ 18 34.88	1864	Forsch, Zylinsky, Tiele	
	113	Warschau	- 15 57.66	1865	desgl.	
114	Göttingen-Brocken	- 2 42.22	1874	Albrecht, Löw, Richter	Brocken: Trigon. Punct.	
115	Dangast	+ 7 15.56	1867	Albrecht, Tietjen	Dangast: Dreieckspunct.	
116	Leyden	+ 21 50.06	1867	Albrecht, Hennekeler, Kam		
117 ^a	Leipzig	- 9 47.57	1867	Valentiner, Albrecht		
117 ^b	Leipzig	- 9 47.81	1874	Löw, Richter		

<i>Preußen</i>	118	Leipzig-Brocken								Centrum der Sternwarten.
	119	Gotha								
<i>Rußland</i>	120	Kasan-Moskau								
	121	Kiew-Rostow am Don								
	122	Moskau								
	123	Nicolajew								
	124a	Warschau								
	125b	Warschau								
	126	Orenburg-Orsk								
	127	Samara								
	128	Pulkowa-Abo								
	129	Dorpat								
	130	Helsingfors								
	131	Lowisa								
	132	Moskau								
	133	Warschau								
	134	Wiborg								
	135	Saratow-Haverfordwest								
	136	Samara								
	137	Warschau-Kowel								
	138	Wilna								
	139	Wilna-Riga								
<i>Sachsen</i>	140	Leipzig-Dresden								
	141	Freiberg								
	142	Großenhain								
	143	Jauernik								
<i>Schweden</i>	144	Stockholm-Helsingfors								
<i>Schweiz</i>	145	Genf-Bogenhausen (München)								
	146	Lyon								

Land	Nr.	Stationen	Längen- differenz in Zeit	Jahr	Beobachter	Bemerkungen
Schweiz	147	Genf-Straßburg	— 6 27.93	1876	Plantamour, Löw	Straßburg: Pfeiler in d. Citadelle.
	148	Genf-Wien	—	1881	Plantamour, v. Oppolzer	
	149	Mailand-Simplon	+ 4 39.16	1870	Plantamour, Celoria	Simplon, astron. Station.
	150	Neuenburg-Bern	— 1 ^m 55.81	1869	Hirsch, Plantamour	Neuenburg und Bern: Me- ridiankreis.
	151	Genf	+ 3 12.97	1861	desgl.	Meridiankreise.
	152	Mailand	+ 8 55.99	1870	Hirsch, Schmidt, Celoria	Mailand: Centrum des
	153	Paris	—	1877	Hirsch, Perrier	[großen Thurmes.
	154	Rigi	— 6 6.53	1867	Hirsch, Plantamour	Rigi: Trig. Punct.
	155	Simplon	— 4 16.82	1870	desgl.	
	156	Weissenstein	— 2 13.09	1868	desgl.	Weissenstein: Pfeiler im Beobachtungsraum.
	157	Zürich	— 6 22.37	1867	Hirsch, Wolf	Zürich: Meridiankreis.
	158	Pfänder-Gæbris	+ 1 13.62	1872	Wolf, v. Oppolzer	Gäbris u. Pfänder: Trigon.
	159	Zürich-Gæbris	— 3 40.07	1872	Wolf, v. Oppolzer	[Punct.
	160	Pfänder	— 4 53.69	1872	Wolf, Plantamour	
	161	Rigi	+ 0 15.84	1869	desgl.	
	Spanien	162	Madrid-Biarritz	— 8 31.60	1863	Aquilar, Leverrier, Merino
163		Tetica-M'Sabiha	—	1879	Perrier, Merino	