

Zeitschrift: Mitteilungen der aargauischen Naturforschenden Gesellschaft
Herausgeber: Aargauische Naturforschende Gesellschaft
Band: 3 (1882)

Artikel: Die astronomischen Längenbestimmungen, mit besonderer Berücksichtigung der neuern Methoden
Autor: Hilfiker, J.
Kapitel: 3: Bestimmung der Längendifferenz durch Benützung des elektrischen Telegraphen
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-170537>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

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 Uhrvergleichen 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 Uhrvergleiche 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 $\pm$ 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 registrirt wurden. Der Beobachter der östlichen Station pointirte 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 Uhganges. 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 sämmtliche 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 theiligt 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 electrischen 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 electrischen 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 Döllen'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 Uhrvergleichen 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 Personal-differenzen 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 Uhrcorrection 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 Uhrgang unabhängig von den persönlichen Differenzen und mit Hilfe derselben aus den Beobachtungen der einzelnen Beobachter die Uhrcorrection für dasselbe Moment 0^h Sternzeit des Beobachtungstages ableiten. Die Unterschiede zwischen diesen Uhrcorrectionen 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 Zehntelsecunden 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 Zehntelsecunden. 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 projecirt 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 Spiegelrings 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 Reflectorthells 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 centriscbe 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 Dabltz-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 oft he 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, mecanician 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:¹ 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 Pendeluhrn 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-

zelen 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 Ergebniß 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 Grad-
messung 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 Uhrvergleichungen 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 Uhrvergleichen 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 beendet 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.