

BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

ABHANDLUNGEN · NEUE FOLGE, HEFT 112

MAX KNEISSL · KURT MARZAHN

Vorschläge und Schlußergebnisse
für die Ausglei chung des europäischen
Gravimeter-Eichsystems

Mit zwei Anlagen
Vorgelegt von Herrn Max Kneißl
am 6. Juli 1962

MÜNCHEN 1963

VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
IN KOMMISSION BEI DER C.H.BECK'SCHEN VERLAGSBUCHHANDLUNG MÜNCHEN

Druck der C. H. Beck'schen Buchdruckerei, Nördlingen
Printed in Germany

INHALTSVERZEICHNIS

Kurt Marzahn: Vorschläge für den Gewichtsansatz und sein Einfluß auf die Ausgleichung des europäischen Gra- vimeter-Eichsystems	5
Max Kneißl und Kurt Marzahn: Abschlußbericht zur Ausgleichung 1962 des europäischen Gravimeter-Eich- systems, mit zwei Anlagen	17

VORSCHLÄGE FÜR DEN GEWICHTSANSATZ
UND SEIN EINFLUSS AUF DIE AUSGLEICHUNG
DES EUROPÄISCHEN GRAVIMETER-EICHSYSTEMS

VON

DR. KURT MARZAHN, HAMBURG

1. Die allgemeine Form der Fehlergleichungen für die gemeinsame Ausgleichung der Pendel- und Gravimetermessungen

Nachdem in dem Bericht [1] und den dazugehörigen Anlagen und Übersichten die Pendel- und Gravimetermessungen, die für die Festlegung des europäischen Gravimeter-Eichsystems in Frage kommen, in ihrer endgültigen Form vorliegen, sind vor Beginn der eigentlichen Rechenarbeit noch einige spezielle Probleme zu klären, die mit dem Ansatz der Gewichte zusammenhängen.

Zu diesem Zweck werden zunächst noch einmal die Fehlergleichungen in ihrer allgemeinen Form angegeben, die sich auf Grund der theoretischen Erörterungen von Dr. A. H. Cook [2] ergeben. Dabei wird auf die Bezeichnungen der Anlage 1 und der Übersicht 4 in [1] besondere Rücksicht genommen, da diese beiden Zusammenstellungen die Grundlage für die Aufstellung der Fehlergleichungen bilden sollen. Bezeichnen wir mit

$\Delta g_{i, AB}$ den mit dem Pendelapparat i gemessenen Schwereunterschied zwischen den Stationen A und B

$p_{i, AB}$ das Gewicht der Beobachtung $\Delta g_{i, AB}$

$V_{i, AB}$ die dazugehörige Verbesserung aus der Ausgleichung

x_A den ausgeglichenen Schwerewert g_A der Station A

so erhält man für die in [1], Anlage 1 zusammengestellten Pendelmessungen folgende Fehlergleichungen:

$$V_{i, AB} = -\Delta g_{i, AB} - x_A + x_B; \quad \text{Gewicht } p_{i, AB}. \quad (1)$$

Setzt man nun noch aus rechentechnischen Gründen $x_A = x_A^0 + \xi_A$, wobei x_A^0 ein Näherungswert der Unbekannten x_A ist, so wird

$$V_{i, AB} = -(\Delta g_{i, AB} + x_A^0 - x_B^0) - \xi_A + \xi_B; \quad \text{Gewicht } p_{i, AB}. \quad (2)$$

Der Index i bezieht sich auf die Spalte „Instr.“ in [1], Anlage 1. Die Stationsnummern sind vorzeichenrichtig in Spalte 1 dieser Anlage angegeben, so daß die Fehlergleichungen ohne weiteres aufgestellt werden können.

Bezeichnen wir weiter mit

$\Delta g_{\lambda, AB}$ den mit dem Gravimeter λ gemessenen Schwereunterschied zwischen den Stationen A und B

$p_{\lambda, AB}$ das Gewicht der Beobachtung $\Delta g_{\lambda, AB}$

$v_{\lambda, AB}$ die zugehörige Verbesserung aus der Ausgleichung

$1 + \gamma_\lambda$ den Eichfaktor für die Messungen mit dem Gravimeter λ , so gelten unter der Voraussetzung, daß die Nichtlinearität der Eichfunktionen der Gravimeter mit genügender Genauigkeit berücksichtigt worden ist, die Gleichungen

$$(1 + \gamma_\lambda) (\Delta g_{\lambda, AB} + v_{\lambda, AB}) = -x_A + x_B.$$

Unter Vernachlässigung von Gliedern höherer Ordnung ergeben sich daraus die Fehlergleichungen

$$v_{\lambda, AB} = -\Delta g_{\lambda, AB} - x_A + x_B - \Delta g_{\lambda, AB} \cdot \gamma_\lambda; \quad \text{Gewicht } p_{\lambda, AB}. \quad (3)$$

Die Eichfaktoren der Ausgangswerte $\Delta g_{\lambda, AB}$ der Übersicht 4 in [1] sind bereits so gewählt, daß die Unbekannten γ_λ im Bereich von $\pm 10^{-3}$ liegen. Für die Unbekannten γ brauchen also keine Näherungswerte eingeführt werden. Mit den Näherungswerten x_A^0 für die Unbekannten x_A erhält man schließlich die Fehlergleichungen der Gravimetermessungen

$$v_{\lambda, AB} = -(\Delta g_{\lambda, AB} + x_A^0 - x_B^0) - \xi_A + \xi_B - \Delta g_{\lambda, AB} \cdot \gamma_\lambda; \quad \text{Gewicht } p_{\lambda, AB}. \quad (4)$$

An Hand von Übersicht 4 in [1] lassen sich danach die Fehlergleichungen im einzelnen direkt aufstellen. Jedem Δg -Wert der Übersicht entspricht eine Fehlergleichung. Die den Indizes A und B entsprechenden Stationsnummern sind in der zweiten und dritten Spalte der Übersicht aufgeführt; zu jeder der von 1 bis 9 durchnummerierten Spalten gehört ein eigener Eichfaktor $(1 + \gamma_\lambda)$. Die Koeffizienten der neun Unbekannten γ_λ in den Fehlergleichungen sind die in der Übersicht direkt aufgeführten Δg -Werte.

2. Bezugswert, Näherungswerte

Die Fehlergleichungen (2) und (4) sind gemeinsam unter Beachtung der Gewichte $p_{i, AB}$ bzw. $p_{\lambda, AB}$ auszugleichen, die in den folgenden Abschnitten noch ausführlicher zu diskutieren sind. Es ist zu beachten, daß der Schwerewert einer Station als fester Bezugswert in die Ausgleichung einzuführen ist. Gemäß der Empfehlung Nr. 6 der Internationalen Gravimetrischen Kommission von Paris 1959 (vgl. [3], S. 155) soll der Schwerewert der Station 7, Bad Harzburg,

$$g_7 = 981\,180,40 \text{ mGal}$$

als Bezugswert für die Ausgleichung des europäischen Gravimeter-Eichsystems benutzt werden. Die bei der Ausgleichung erhaltenen mittleren Fehler der Unbekannten ξ bzw. x gelten also für die Schwereunterschiede gegen die Bezugsstation Bad Harzburg. Benutzt man die in Tabelle 1 aufgeführten Näherungswerte x^0 , so werden die Unbekannten ξ im Bereich von $\pm 0,50 \text{ mGal}$ und die Unbekannten γ im Bereich von $\pm 10^{-3}$ liegen.

3. Mittlere Fehler und systematische Fehleranteile der Pendelmessungen

Auf Grund von kritischen Voruntersuchungen, die hier nicht im einzelnen mitgeteilt werden können, sollen nur die in [1], Anlage 1 aufgeführten Pendelmessungen in die Ausgleichung einbezogen werden. Für die einwandfreie Festlegung des europäischen Gravimeter-Eichsystems muß vorausgesetzt werden, daß die mit vier verschiedenen Pendelappa-

raten gemessenen Schwereunterschiede weitgehend frei sind von systematischen Fehlereinflüssen, die durch die Meßinstrumente bzw. durch den Meßvorgang hervorgerufen worden sind. Außerdem sind die mittleren Fehler der verschiedenen Messungsergebnisse zu bestimmen. Da die aus den Schwingungszeiten auf den Stationen abgeleiteten mittleren Fehler nicht als repräsentativ für die tatsächliche äußere Genauigkeit der Schwereunterschiede angesehen werden können, wurden die Messungen mit den verschiedenen Apparaten zunächst als gleichgewichtig angenommen.

Tabelle 1. Näherungswerte x^0 für die Ausgleichung

Station	Nr.	x^0	mGal
Hammerfest	1	982	632,30
Bodö	2	2	387,30
Oslo	3	981	927,30
Edinburgh	4	1	583,80
Kopenhagen	5	1	557,80
Teddington	6	1	196,40
Bad Harzburg	7	1	180,40 (Bezugspunkt)
Paris	8	980	940,90
München	9	0	744,40
Mailand	10	0	565,10
Bagnères	11	0	287,30
Rom	12	0	364,20
Catania	13	0	046,80
Stockholm	14	981	845,60
Hamburg	15	1	389,70
Bremen	16	1	335,00
Amsterdam	17	1	288,10
Hannover	18	1	287,30
Berlin	19	1	281,60
Düsseldorf	20	1	199,00
Brüssel	21	1	156,30
Frankfurt	22	1	057,20
Zürich	23	980	687,00
Genf	24	0	581,10
Toulouse	25	0	442,70
Marseille	26	0	488,50
Piastra	27	0	521,10

Aus den Abweichungen der Einzelwerte von den in [1], Anlage 1, letzte Spalte angegebenen arithmetischen Mitteln ergibt sich bei 15 Freiheitsgraden ein mittlerer Fehler $m_1 = \pm 0,42$ mGal für einen mit einem Pendelapparat einmal gemessenen Schwereunterschied. Die Verteilung der Abweichungen selbst –

für den Cambridge-Apparat (9 Werte) zwischen $+0,68$ u. $-0,22$ mGal
für den Gulf-Apparat (7 Werte) zwischen $+0,08$ u. $-0,75$ mGal
für den italienischen Apparat (6 Werte) zwischen $+0,41$ u. $-0,71$ mGal
für den Askania-Apparat (3 Werte) zwischen $+0,28$ u. $-0,08$ mGal –

deutet darauf hin, daß die Annahme der Gleichgewichtigkeit aller Pendelmessungen zumindest in erster Näherung gerechtfertigt ist. Wird das Pendelnetz in sich ausgeglichen, wobei jede Messung wieder das gleiche Gewicht bekommt, so wird der mittlere Gewichtseinheitsfehler, der dem Wert m_1 vergleichbar ist, $m_2 = \pm 0,41$ mGal bei 22 Freiheitsgraden. Wird der mittlere Fehler nicht aus den Verbesserungen der Einzelmessungen, sondern aus den Verbesserungen der arithmetischen Mittel unter Berücksichtigung der Anzahl der Einzelmessungen als Gewicht berechnet, so ergibt sich bei 7 Freiheitsgraden $m_3 = \pm 0,39$ mGal. Die Verteilung der Verbesserungen ändert sich gegenüber den oben angegebenen Grenzen kaum. Die gute Übereinstimmung der mittleren Fehler m_1 , m_2 und m_3 rechtfertigt die Annahme der Gleichgewichtigkeit aller Pendelmessungen. Wegen der guten Übereinstimmung von m_2 und m_3 ist auch kaum mit wesentlichen systematischen Unterschieden zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Pendelapparate zu rechnen.

Trotzdem wurde noch eine Ausgleichung durchgeführt, bei der als mathematisches Modell linear mit dem Schwereunterschied wachsende systematische Anteile für jeden Pendelapparat angenommen wurden; bezogen wurden diese Anteile in der Ausgleichung zunächst auf die Messungen mit dem Cambridge-Apparat. Für die Messungen mit diesem Apparat wurden also die Fehlergleichungen nach Gleichung (2), die für die übrigen drei Apparate nach Gleichung (4) gebildet. Die Unbekannten y geben die systematischen Unterschiede gegen den Cambridge-Apparat, die Differenzen zweier y -Werte die anderen Kombinationen. Der mittlere Gewichtseinheitsfehler wird bei 19 Freiheitsgraden $m_4 = \pm 0,40$ mGal. Da sich dieser Wert nur sehr unwesentlich von dem Wert $m_2 = \pm 0,41$ mGal der normalen Pendelnetz-Ausgleichung unterscheidet, können die systematischen Anteile kaum reell sein. Im einzelnen sind die Koeffizienten y der systematischen Unterschiede $y \cdot \Delta g$ [in 10^{-4}]:

	y	m_y	$t = \frac{y}{m_y}$
zwischen dem Cambridge- und dem Gulf-Apparat	− 4,6	$\pm 3,9$	1,18
und dem italienischen Apparat	− 5,3	$\pm 4,8$	1,10
und dem Askania Apparat	+ 5,2	$\pm 5,1$	1,02
zwischen dem Gulf- und dem italienischen Apparat	− 0,7	$\pm 5,4$	0,13
und dem Askania-Apparat	− 9,8	$\pm 5,4$	1,81
zwischen dem italienischen und dem Askania-Apparat	− 10,5	$\pm 6,5$	1,62

Ein Test mit der t -Verteilung zeigt, daß keiner der Quotienten $t = \frac{y}{m_y}$ den Wert $t = 2,09$ erreicht, der bei 19 Freiheitsgraden erst der Wahrscheinlichkeit $P = 0,05$ entspricht. Die systematischen Unterschiede sind also statistisch nicht gesichert; d. h. mit anderen Worten, daß der Ansatz der Fehlergleichungen nach Gleichung (2) für alle in [1], Anlage 1 zusammengestellten Pendelmessungen zutreffend ist. Der mittlere Fehler aller dort angegebenen Schwereunterschiede ist dann

$$m_2 = \pm 0,41 \text{ mGal};$$

die Gewichte der Pendelmessungen sind dementsprechend einheitlich

$$p_{i. \text{ AB}} = \frac{\text{const.}}{m_2^2}.$$

4. Mittlere Fehler der Gravimetermessungen

Wesentlich inhomogener als die Pendelmessungen sind die Gravimetermessungen, die für das europäische Gravimetereichsystem zur Verfügung stehen. Einen Überblick über die Verschiedenartigkeit der Messungen gibt der Abschnitt 3.2 in [1]. Es ist unmöglich, im Rahmen einer sehr detaillierten Fehlertheorie durch komplizierte Gewichtsansätze dieser Verschiedenartigkeit des Ausgangsmaterials Rechnung zu tragen, da für die einzelnen Vergleichsmöglichkeiten viel zu wenig Überbestimmungen vorliegen, um statistisch gesicherte Aussagen über die mittleren Fehler zu bekommen, die die tatsächliche äußere Genauigkeit der einzelnen Messungen bzw. Messungsgruppen repräsentieren. Darüberhinaus ist der Gewichtsansatz auch von untergeordneter Bedeutung, wie im folgenden Abschnitt noch gezeigt wird.

Wichtig ist dagegen, daß die nichtlinearen Anteile der Eichfunktionen bei den einzelnen Instrumenten gut erfaßt sind, damit die in die Ausgleichung einbezogenen Schwereunterschiede im Rahmen der Meßgenauigkeit nur noch lineare Maßstabsunterschiede enthalten, die durch Ansatz der Glieder $(1 + \gamma_\lambda) \cdot \Delta g_\lambda$ berücksichtigt werden. Für die Messungen der Spalten Nr. 1 bis 5 der Übersicht 4 in [1] ist diese Forderung erfüllt, wie Untersuchungen der Linienmessungen zwischen München und Catania ergeben haben. Für die anderen Messungen bestehen zu wenig Vergleichsmöglichkeiten. Gewisse Unsicherheiten müssen hierfür in Kauf genommen werden. Besonders kritisch sind die Messungen der Expéditions Polaires Françaises (EPF), die nicht einmal bestätigt werden konnten.

Um einen ersten Überblick über die Gesamtheit des in [1], Übersicht 4 zusammengestellten Gravimeternetzes zu bekommen, wurde eine Ausgleichung im Maßstab der Messungen der TH Hannover angesetzt; d. h. für die Messungen der Spalte Nr. 1 in Übersicht 4 wurden Fehlergleichungen von der Form der Gleichung (2) und für die übrigen Messungen Fehlergleichungen von der Form der Gleichung (4) angesetzt.

Allen Messungen wurde das gleiche Gewicht gegeben. Der mittlere Gewichtseinheitsfehler dieser Ausgleichung ist bei 90 Freiheitsgraden $m_0 = \pm 0,13$ mGal. Die größten Verbesserungen $-0,63$ und $+0,34$ mGal treten bei den Messungen der EPF auf, während sie für alle anderen Messungen ziemlich einheitlich im Bereich von $\pm 0,28$ mGal bleiben.

Mit den Eichfaktoren γ dieser Ausgleichung wurden die Schwereunterschiede der Übersicht 4 in [1] auf einen einheitlichen Maßstab gebracht und die so maßstabskorrigierten Schwereunterschiede dann auf ihre mittleren Fehler untersucht.

Läßt man zunächst die Messungen der EPF außer Betracht, so erhält man aus den Abweichungen der übrigen Schwereunterschiede gegen ihre arithmetischen Mittel einen mittleren Fehler eines einzelnen Schwereunterschiedes der Übersicht 4 in [1]

$$m_0 = \pm 0,095 \text{ mGal}$$

bei 45 Freiheitsgraden. Wird der mittlere Fehler nur aus Linienmessungen berechnet, so ergibt sich bei 37 Freiheitsgraden ebenfalls $\pm 0,095$ mGal.

Vergleicht man nun die Messungen der EPF mit den Mitteln aus allen anderen Messungen, so zeigt sich im Rahmen der Vergleichsmöglichkeiten, daß auch dort nur die drei Messungen für den Schwereunterschied Edinburgh – Paris erheblich ungenauer sind als die anderen Messungen. Läßt man nur diese drei Messungen unberücksichtigt, so ergibt sich aus den Abweichungen aller übrigen Messungen gegen die zugehörigen arithmetischen Mittel der mittlere Fehler eines Schwereunterschiedes in [1], Übersicht 4

$$m_G = \pm 0,096 \text{ mGal}$$

bei 57 Freiheitsgraden. Für die drei Messungen Edinburgh – Paris der EPF ist der entsprechende mittlere Fehler

$$\bar{m}_G = \pm 0,47 \text{ mGal}$$

bei 2 Freiheitsgraden. Der Unterschied der Werte m_G und $\bar{m}_G$ ist statistisch gesichert, wie ein Test mit der F-Verteilung zeigt.

Für die Fluggravimetrierungen des Geodätischen Institutes der TH Hannover hat der Beobachter, Dipl.-Ing. Bettac in [4] unterschiedliche Gewichte angegeben, die aus der Anzahl der Hin- und Rückmessungen abgeleitet wurden. Diese Gewichtssetzung, die teilweise nicht einmal statistisch gesichert ist, ist auch insofern problematisch, als alle Messungen einer einheitlichen Gangkorrektur unterworfen worden sind. Die in [1] Übersicht 4, Spalte Nr. 1 zusammengestellten Schwereunterschiede sind also wesentlich stärker korreliert als die Linienmessungen der anderen Institute. Außerdem sind an die über große Strecken gemessenen Schwereunterschiede noch Zentrierungen auf die Knotenpunkte angebracht. Sie würden bei stark unterschiedlichen Gewichten unter Umständen genau wie nicht vollkommen getilgte Nichtlinearitäten der Eichfunktionen die Ausgleichungsergebnisse übermäßig beeinflussen. Aus all diesen Gründen erscheint es nicht sinnvoll, die von Bettac in [4] angegebenen Gewichte zu übernehmen. Statt dessen wird vorgeschlagen, mit Ausnahme der drei EPF-Messungen zwischen Edinburgh und Paris alle anderen Messungen zur gleichen Grundgesamtheit gehörig zu betrachten mit einem mittleren Fehler $m_0 = \pm 0,10 \text{ mGal}$. Jede der drei EPF-Messungen hat dagegen den mittleren Fehler $m_0 = \pm 0,47 \text{ mGal}$. Die Gewichte der Fehlergleichungen (4) sind dann dementsprechend

$$p_{\lambda \cdot AB} = \frac{\text{const.}}{m_0^2} \quad \text{bzw.} \quad p'_{\lambda \cdot AB} = \frac{\text{const.}}{m_0'^2}.$$

5. Einfluß des Gewichtsansatzes auf die Ausgleichungsergebnisse und auf ihre mittleren Fehler

Von verschiedenen Seiten wurde auf die Problematik des „richtigen“ Gewichtsansatzes bei der Ausgleichung nach Cook hingewiesen. Sicher ist es aber besser, wenigstens näherungsweise die tatsächlichen Gewichtsverhältnisse zu erfassen, als a priori zu verlangen, die Gravimetermessungen gegenüber den Pendelmessungen als fehlerfrei zu betrachten.

An einem Testnetz wurde in [5] bereits nachgewiesen, daß der Einfluß des Gewichtsansatzes auf die mittleren Fehler der Unbekannten nur klein ist.

Verhältnismäßig einfach lassen sich die Grenzen berechnen, in denen die Unbekannten x der Ausgleichung liegen müssen. Der erste Extremfall, der den tatsächlichen Verhältnissen allerdings am wenigsten entspricht, ist dann gegeben, wenn die Gravimetermessungen gegenüber den Pendelmessungen das Gewicht Null haben, d. h. wenn die Pendelmessungen in sich ohne Berücksichtigung der Gravimetermessungen ausgeglichen werden. Der zweite Extremfall, der den tatsächlichen Gegebenheiten nahekommt, liegt vor, wenn die Gravimetermessungen gegenüber den Pendelmessungen als fehlerfrei angenommen werden. Das Verfahren, das diesem Extremfall entspricht, wurde bereits in [5] zu Maßstabsbestimmungen benutzt. Zunächst wird dabei das Gravimeternetz in sich in einem beliebigen Maßstab unter Berücksichtigung der Gewichtsverhältnisse der endgültigen Ausgleichung ausgeglichen. Für die Pendelnetz-Ausgleichung werden dann die ausgeglichenen Schwereunterschiede $\Delta g_{G, AB}$ des Gravimeternetzes unter Berücksichtigung eines Maßstabsfak-

tors y für das ganze Gravimeternetz angehalten. Die Fehlergleichungen für diese Ausgleichung erhält man durch Einsetzen von Gleichung (3) in Gleichung (1)

$$V_{i,AB} = - \frac{(\Delta g_{i,AB} - \Delta g_{G,AB})}{1} + y \cdot \Delta g_{G,AB}. \quad (5)$$

Die einzige aus der Ausgleichung zu bestimmende Unbekannte ist

$$y = \frac{[\Delta g \cdot 1]}{[\Delta g^2]}. \quad (6)$$

Da das Gravimeternetz in sich ausgeglichen ist, sind durch die Ausgleichung auch die Schleifenwidersprüche des Pendelnetzes getilgt.

Der mittlere Fehler des Maßstabsfaktors y für das Gravimeternetz wird

$$m_y = m_0 \sqrt{\frac{1}{[\Delta g^2]}}$$

mit $[\Delta g^2]$ = Quadratsumme aller mit Pendelapparaten gemessenen Schwereunterschiede.

Da dieser Wert m_y unter der Voraussetzung gilt, daß die Gravimetermessungen in sich widerspruchsfrei sind, ist er der Minimalwert für den mittleren Fehler des Maßstabsfaktors überhaupt.

In den mittleren Fehlern $m_{\Delta g}$ beliebiger ausgeglichener Schwereunterschiede des Pendel- und Gravimeternetzes wirkt sich neben den reinen Messungsfehlern die Maßstabsunsicherheit in voller Größe aus (vgl. [5]); es muß also die Ungleichung gelten

$$m_{\Delta g} \geq \Delta g \cdot m_y = \Delta g \cdot m_0 \sqrt{\frac{1}{[\Delta g^2]}}.$$

Für das europäische Gravimetereichsystem wird mit $m_0 = \pm 0,41$ mGal und $[\Delta g^2] = 7698906$ [mGal²]

$$m_{\Delta g} \geq \pm 1,47 \cdot \Delta g \cdot 10^{-4}.$$

In Tabelle 2 sind die ausgeglichenen, auf Bad Harzburg bezogenen Schwerewerte x der Pendelstationen des europäischen Gravimetereichsystems für die beiden Extremfälle gegenübergestellt. Obgleich der erste Fall (nur Pendelnetz) den Realitäten sehr wenig entspricht, sind die Differenzen in den Ergebnissen kaum größer als die bei der endgültigen Ausgleichung zu erwartenden mittleren Fehler. Lediglich für Mailand ergibt sich eine große Differenz, die wohl auf die Pendelmessung München – Mailand mit dem italienischen Pendelapparat zurückzuführen ist, die bei der zweiten Ausgleichung eine sehr große Verbesserung bekommt.

Wenn aber eine Änderung des Gewichtsansatzes von 1 : 0 zu 1 : ∞ die ausgeglichenen Schwerewerte x nur in mäßigen Grenzen beeinflusst, so werden wesentlich kleinere Unsicherheiten im Gewichtsansatz praktisch ohne nennenswerten Einfluß auf die Ergebnisse bleiben.

Abschließend kann diese Feststellung noch durch einen interessanten Vergleich bestätigt werden, der außerdem zeigt, von wie untergeordneter Bedeutung die Festsetzung der

gegenseitigen Gewichtsverhältnisse der Gravimetermessungen ist. Bettac hat in [4] seine Großraumgravimetrierungen mit einem Askania-Gravimeter Gs 12 zusammen mit den Pendelmessungen des europäischen Gravimetereichsystems (allerdings noch unter Ein-schluß der inzwischen verworfenen kanadischen Pendelmessungen) nach dem Vorschlag von Cook streng ausgeglichen. Das Gewichtsverhältnis der Pendelmessungen zu einem einmal im Hin- und Rückgang mit dem Gravimeter gemessenen Schwereunterschied wurde 1 : 90 angenommen. Die Gewichte der Gravimetermessungen in sich schwanken erheblich zwischen 0,5 und 18,5. Als weitere Besonderheit gegenüber der Ausglei-chung des europäi-schen Gravimetereichsystems wurden alle Zentrierelemente zwischen den Flughafenpunk-ten und den Knotenpunkten des Eichsystems als Beobachtungen mit in die Ausglei-chung eingeführt. Die ausgeglichenen Schwerewerte x der Pendelstationen (wieder bezogen auf Bad Harzburg), die aus [4], Tabelle 14, Nr. IV entnommen sind, enthält ebenfalls Tabelle 2.

Tabelle 2

Nr.	Station	Pendelnetz- ausgleichung 1. Extremfall	Pendel- und ausgeglichenes Gravimeter- Netz 2. Extremfall	Strenge Ausgleichung Bettac			
		x_I mGal	x_{II} mGal	x_{III} mGal	$m_{x_{III}}$	$x_{II} - x_I$	$x_{III} - x_{II}$ $=$ $-2,6(x - x_2) \cdot 10^{-4}$
1	Hammerfest	982 632.28	982 632.40	—	—	+0.12	—
2	Bodö	982 386.86	982 387.33	982 387.59	± 0.30	+0.47	+0.26
3	Oslo	981 927.27	981 927.28	981 927.46	± 0.19	+0.01	+0.18
4	Edinburgh	981 583.72	981 583.85	981 583.98	± 0.12	+0.13	+0.13
5	Kopenhagen	981 557.94	981 557.91	981 558.03	± 0.11	—0.03	+0.12
6	Teddington	981 196.49	981 196.57	981 196.57	± 0.07	+0.08	± 0.00
7	Bad Harzburg	981 180.40	981 180.40	981 180.40	—	—	—
8	Paris	980 940.76	980 940.86	980 940.85	± 0.09	+0.10	—0.01
9	München	980 744.59	980 744.58	980 744.40	± 0.12	—0.01	—0.18
10	Mailand	980 564.68	980 565.39	980 565.09	± 0.17	+0.71	—0.30
12	Rom	980 364.11	980 364.40	980 364.15	± 0.21	+0.29	—0.25
13	Catania	980 046.79	980 047.13	980 046.84	± 0.28	+0.34	—0.29
							± 0.00

Die Differenzen dieser Werte gegen die entsprechenden Werte des zweiten Extremfalles, die auf ganz anderem Wege unter Einbeziehung aller als gleichgewichtig angenommenen Gravimetermessungen des Eichsystems entstanden sind, überschreiten kaum die mittleren Fehler der ausgeglichenen Schwerewerte x_{III} . Beseitigt man noch einen linearen Maßstabs-unterschied $-2,6 \cdot \Delta g \cdot 10^{-4}$, der auf die Mitverwendung der kanadischen Pendelmessun-gen bei der Ausglei-chung von Bettac zurückzuführen ist, so bleiben die in Tabelle 2, letzte Spalte angegebenen Differenzen Δ zwischen den Werten der Bettac'schen Ausglei-chung und dem zweiten Extremfall, der der strengen Ausglei-chung des europäischen Gra-vimetereichsystems nahe kommt; nur für die Station Mailand wird der mittlere Fehler $m_{x_{III}} = \pm 0,17$ mGal von dem entsprechenden Wert Δ fast erreicht; für alle anderen Sta-tionen liegen die Differenzen Δ weit innerhalb der mittleren Fehler $m_{x_{III}}$. Damit ist noch einmal bestätigt, wie wenig sich Änderungen im Gewichtsansatz auf die Ergebnisse der Ausglei-chung des europäischen Gravimetereichsystems auswirken werden.

6. Vorschlag für die Gewichte der Pendel- und Gravimetermessungen

Auf Grund der vorstehenden Untersuchungen wird vorgeschlagen, folgende Gewichte für die Fehlergleichungen (2) und (4) zu benutzen:

für alle in [1], Anlage 1 zusammengestellten Pendelmessungen

$$p_{i. AB} = \frac{100}{41^2} = 0,06;$$

für die in [1], Übersicht 4 zusammengestellten Gravimetermessungen (ohne Schwereunterschied 4-8, Edinburgh-Paris)

$$p_{\lambda. AB} = \frac{100}{10^2} = 1,00;$$

für die Messungen des Schwereunterschiedes 4-8, Edinburgh-Paris

$$p'_{\lambda. AB} = \frac{100}{47^2} = 0,05.$$

Der mittlere Gewichtseinheitsfehler müßte bei diesem Gewichtsansatz ca. ± 10 [mGal/100] werden. Führt man die Beobachtungen Δg in [mGal/100] und die Koeffizienten Δg der Unbekannten y in [100 mGal] in die Fehlergleichungen ein, so werden die Unbekannten x im Bereich von ± 50 [mGal/100], die Eichfaktoren im Bereich von $\pm 10 \cdot [10^{-4}]$ und die Gewichtskoeffizienten der unbestimmten Auflösung im Bereich von ± 50 liegen.

LITERATURANGABEN

- [1] Kneißl, M., Das europäische Gravimeter-Eichsystem, Unterlagen und Vorbericht zur einheitlichen internationalen Ausgleichung nach der Methode von Dr. A. H. Cook. Abh. d. Bayer. Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl. N.F. Heft 111, München 1963.
- [2] Cook, A. H., The Calibration of Gravity Meters by Comparison with Pendulums. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, Vol. I, no. 1, 1958.
- [3] Coron, S., Réunion de la Commission Gravimétrique Internationale, Bull. géod., Nouv. Série, Nr. 56, Paris 1960.
- [4] Bettac, W., Messungen großer Schwereunterschiede mit einem nicht astasierten Federgravimeter mit veränderbarer Masse. Veröff. d. DGK, Reihe C, Heft Nr. 55, München 1963.
- [5] Marzahn, K., Untersuchung der Pendel- und Gravimetermessungen auf dem europäischen Gravimetereichsystem. Veröff. der DGK, Reihe A, Heft Nr. 38, S. 93-113, München 1961.

DIE AUSGLEICHUNG 1962
DES EUROPÄISCHEN GRAVIMETEREICHSYSTEMS

ABSCHLUSSBERICHT

von

M. Kneißl und K. Marzahn

Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut

1. Die Messungsunterlagen, die Rechenstellen

Gemäß der in Helsinki im August 1960 von der Internationalen Assoziation für Geodäsie gefaßten Resolution Nr. 19 ([1], S. 423) wurden in [2] alle Pendel- und Gravimetermessungen zusammengestellt, die in die Ausgleichung des europäischen Gravimetereichsystems einbezogen werden sollen. Vor der endgültigen Zusammenstellung hatten die Beobachter noch Gelegenheit, die Meßergebnisse im einzelnen zu überprüfen. Vorschläge für den Gewichtsansatz wurden in [3] gemacht. Dabei wurde gleichzeitig nachgewiesen, daß der Gewichtsansatz die Ergebnisse der Ausgleichung nur sehr wenig beeinflussen wird. Die Manuskripte der Arbeiten [2] und [3] wurden bis Januar 1962 an die in der Resolution Nr. 19 namentlich aufgeführten Institute mit der Bitte verteilt, die Ausgleichung nach dem international anerkannten Vorschlag von Dr. A. H. Cook durchzuführen und die Ergebnisse bis April 1962 mitzuteilen. Fristgerecht gingen die Ausgleichungsergebnisse von folgenden Rechenstellen ein:

1. von Herrn Prof. Bruins, Laboratorium voor Geodesie, Technische Hogeschool, Delft (2. 4. 1962);
2. von Herrn Dr. A. H. Cook, National Physical Laboratory, Teddington (13. 4. 1962);
3. von Herrn Dr. K. Marzahn, Geodätisches Institut der Technischen Hochschule München, [4] (11. 3. 1962).

Außerdem liegt ein kurzer Bericht von Herrn Prof. Solaini vom 28. 3. 1962 zur Ausgleichung des europäischen Gravimetereichsystems vor. Da von der italienischen Rechenstelle aber lediglich eine Teiluntersuchung auf der Linie Flensburg – Bad Harzburg – München – Rom – Catania ausgeführt wurde, können diese Ergebnisse nicht mit den drei strengen Ausgleichungen verglichen werden. Auf Grund der italienischen Untersuchungen ist die italienische Geodätische Kommission zu einer Stellungnahme gekommen, die von den in internationaler Zusammenarbeit entstandenen Resolutionen und Empfehlungen der Internationalen Gravimetrischen Kommission und der Internationalen Assoziation für Geodäsie abweicht. Auf diese Stellungnahme soll in Abschnitt 4 im Anschluß an die Diskussion der Ergebnisse der strengen Ausgleichung näher eingegangen werden.

2. Die Ausgleichung des europäischen Gravimetereichsystems

2.1 Fehlergleichungen und Normalgleichungen

Die Rechenformeln, nach denen von den drei Rechenstellen einheitlich die Fehlergleichungen aufgestellt wurden, sind in [3] und [4] angegeben. Der Gewichtsansatz erfolgte bei den Rechenstellen 2 und 3 einheitlich nach dem Vorschlag in [3]. Unterschiede in den Ergebnissen der Rechenstellen 2 und 3 sind also ausschließlich auf Abrundungsungenauigkeiten

ten in den Normalgleichungen und in ihrer Reduktion zurückzuführen. Die Fehlergleichungen sind in Anlage I angegeben. In der Rechenstelle 1 wurden die Fehlergleichungen der verschiedenen Pendelmessungen für den gleichen Schwereunterschied unter entsprechender Berücksichtigung in den Gewichten zusammengefaßt. Dadurch ändert sich die Quadratsumme der Verbesserungen bei gleichzeitiger Änderung der Anzahl der Freiheitsgrade. Der mittlere Gewichtseinheitsfehler sollte bei zutreffendem Gewichtsansatz aber mit dem mittleren Gewichtseinheitsfehler, der sich bei der Ausgleichung der nicht zusammengefaßten Fehlergleichungen ergibt, übereinstimmen. Auf die Schlußergebnisse hat die Zusammenfassung keinen Einfluß. Darüberhinaus ist Herr Prof. Bruins aber auch zu einer anderen Deutung der Genauigkeit der drei Gravimetermessungen der Expéditions Polaires Françaises zwischen Paris und Edinburgh gekommen als Dr. Marzahn. Während in [3] die drei Messungen als gleich genau, aber im Verhältnis zu allen anderen Gravimetermessungen als wesentlich ungenauer angesehen werden und der Gewichtsansatz $p = 0,05$ einer Streichung praktisch gleichkommt, hat Prof. Bruins nur eine der drei Messungen als grob falsch gestrichen und die anderen beiden Messungen als gleich genau mit allen anderen Gravimetern ($p = 1,00$) in der Ausgleichung berücksichtigt. In den Unterschieden der Ergebnisse der Rechenstelle 1 zu denen der beiden anderen Rechenstellen wirkt sich also der Einfluß des unterschiedlichen Gewichtsansatzes voll aus.

Die Unterschiede des Gewichtsansatzes bewirken natürlich auch kleine Unterschiede in den Normalgleichungskoeffizienten; in Anlage II sind die [4] entnommenen Normalgleichungskoeffizienten angegeben.

Zu den von den einzelnen Rechenstellen benutzten Reduktionsverfahren, deren Kenntnis in diesem Zusammenhang ohnehin keine Bedeutung hat, liegen keine näheren Angaben vor.

2.2 Mittlerer Gewichtseinheitsfehler

Die von den einzelnen Rechenstellen aus den Verbesserungen berechneten Fehlerquadratsummen $[pvv]$ und die mittleren Gewichtseinheitsfehler m_0 sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

	Rechenstelle 1	2	3
$[pvv]$	1,2691	1,4547	1,4546
$n - u$	106	122	122
$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{n-u}}$	$\pm 0,109 \text{ mGal}$	$\pm 0,109 \text{ mGal}$	$\pm 0,109 \text{ mGal}$

Die mittleren Gewichtseinheitsfehler stimmen also für alle drei Ausgleichungen noch in 0,001 mGal vollkommen überein. In [4] wurde nachgewiesen, daß der Unterschied zwischen dem hier berechneten Wert $\pm 0,109 \text{ mGal}$ und dem auf Grund des Gewichtsansatzes theoretisch zu erwartenden Wert $\pm 0,100 \text{ mGal}$ nur unwesentlich ist.

2.3 Die Ergebnisse der Ausgleichungen

Die ausgeglichenen Schwerewerte, bezogen auf die Station Bad Harzburg, mit den zugehörigen mittleren Fehlern sind für die drei Rechenstellen getrennt auf Hundertstel Milligal abgerundet in Tabelle 2 gegenübergestellt.

Tabelle 2
Ausgeglichenne Schwerewerte gegen die Station Bad Harzburg

Sta- tions- Nr.	Station	Rechenstelle 1 (Bruins)		Rechenstelle 2 (Cook)		Rechenstelle 3 (Marzahn)		Endgültige Schwerewerte	
		g_1 [mGal]	$\pm m_{g_1}$ [mGal]	g_2 [mGal]	$\pm m_{g_2}$ [mGal]	g_3 [mGal]	$\pm m_{g_3}$ [mGal]	g [mGal]	m_g [mGal]
1	Hammerfest	982 632.36	± 0.26	...	± 0.26	...	± 0.26	982 632.36	± 0.26
2	Bodö	2 387.29	0.21	7.29	0.21	7.29	0.21	2 387.29	0.21
3	Oslo	1 927.29	0.14	7.29	0.14	7.29	0.14	1 927.29	0.14
4	Edinburgh	1 583.79	0.09	3.80	0.10	3.80	0.10	1 583.80	0.10
5	Kopenhagen	1 557.91	0.08	7.91	0.08	7.91	0.08	1 557.91	0.08
6	Teddington	1 196.57	0.06	6.57	0.06	6.57	0.06	1 196.57	0.06
7	Bad Harzburg	1 180.40	—	0.40	—	0.40	—	1 180.40	—
8	Paris	0 940.86	0.07	0.86	0.07	0.86	0.07	0 940.86	0.07
9	München	0 744.57	0.09	4.57	0.09	4.57	0.09	0 744.57	0.09
10	Milano	0 565.35	0.12	5.36	0.12	5.36	0.12	0 565.36	0.12
11	Bagnères	0 287.38	0.19	7.38	0.19	7.38	0.19	0 287.38	0.19
12	Rom	0 364.36	0.15	4.37	0.15	4.37	0.15	0 364.36	0.15
13	Catania	0 047.08	0.21	7.08	0.21	7.08	0.21	0 047.08	0.21
14	Stockholm	1 845.69	0.14	5.68	0.14	5.68	0.14	1 845.68	0.14
15	Hamburg	1 389.81	0.06	9.81	0.06	9.81	0.06	1 389.81	0.06
16	Bremen	1 335.20	0.08	5.20	0.08	5.20	0.08	1 335.20	0.08
17	Amsterdam	1 288.24	0.07	8.24	0.07	8.24	0.07	1 288.24	0.07
18	Hannover	1 287.32	0.04	7.32	0.04	7.32	0.04	1 287.32	0.04
19	Berlin	1 281.57	0.07	1.57	0.07	1.57	0.07	1 281.57	0.07
20	Düsseldorf	1 199.34	0.06	9.34	0.06	9.34	0.06	1 199.34	0.06
21	Brüssel	1 156.31	0.06	6.31	0.06	6.31	0.06	1 156.31	0.06
22	Frankfurt	1 057.32	0.05	7.32	0.05	7.32	0.05	1 057.32	0.05
23	Zürich	0 687.09	0.11	7.09	0.11	7.09	0.11	0 687.09	0.11
24	Genf	0 581.17	0.14	1.17	0.14	1.17	0.14	0 581.17	0.14
25	Toulouse	0 442.79	0.15	2.79	0.15	2.79	0.15	0 442.79	0.15
26	Marseille	0 488.61	0.14	8.61	0.14	8.61	0.14	0 488.61	0.14
27	Piastra	0 512.26	0.13	1.27	0.12	1.27	0.13	0 521.26	0.13

Die Unterschiede in den Schwerewerten und in ihren mittleren Fehlern sind trotz des unterschiedlichen Gewichtsansatzes maximal nur 0,01 mGal; sie überschreiten damit nicht einmal die Abrundungsungenauigkeiten der Ergebnisse. Als endgültige Schwerewerte bezogen auf die Station Bad Harzburg werden die in den letzten beiden Spalten der Tabelle 2 zusammengestellten Werte vorgeschlagen. Da die Ergebnisse der Rechenstellen 2 und 3 zu den gleichen Ausgangswerten gehören, wurde nicht generell gemittelt, sondern bei unterschiedlichen Schwerewerten wurde aus den Ergebnissen der einzelnen Rechenstellen der Schwerewert übernommen, der auf die gerade Ziffer endet; bei den mittleren Fehlern wurde grundsätzlich der größere Wert angegeben.

Die ausgeglichenen Maßstabsfaktoren mit ihren mittleren Fehlern enthält Tabelle 3. Auch hier ist die Übereinstimmung zwischen den einzelnen Meßreihen sehr gut. Die maximalen Unterschiede zwischen den Maßstabsfaktoren der einzelnen Rechenstellen sind mit $2 \cdot 10^{-5}$ bei zugehörigen mittleren Fehlern von $\pm 20 \cdot 10^{-5}$ genauso unbedeutend wie bei den Schwerewerten selbst. Bei den mittleren Fehlern tritt nur einmal ein Unterschied von $1 \cdot 10^{-4}$ auf.

Die endgültigen Maßstabsfaktoren wurden nach dem gleichen Prinzip wie die endgültigen Schwerewerte festgelegt. In Tabelle 3 sind schließlich die Maßstabsfaktoren $Y = 1 + y$, die für die Schwereunterschiede Δg in [2], Übersicht 4 gelten, und die Maßstabsfaktoren $\bar{Y} = Y + y^0$ für die Schwereunterschiede in [2], Anlage II ausgewiesen.

2.4 Verbesserungen

Die von den Rechenstellen 2 und 3 berechneten Verbesserungen unterscheiden sich maximal um 0,002 mGal. Gegen die Verbesserungen der 1. Rechenstelle treten für die drei Fehlergleichungen, deren Gewichte unterschiedlich angesetzt worden sind, Unterschiede von 0,035 mGal auf. Die [4] entnommenen Verbesserungen sind in Anlage I mitangegeben.

2.5 Gewichtskoeffizienten

Die Gewichtskoeffizienten, die zur Berechnung der mittleren Fehler der Schwerewerte gegen die Station Bad Harzburg und der Maßstabsfaktoren benutzt worden sind, unterscheiden sich ebenfalls wenig, wie die gute Übereinstimmung der mittleren Fehler zeigt. Die Gewichtskoeffizienten sind nach Rechenstellen getrennt auf 3 Dezimalen nach dem Komma in Tabelle 4 zusammengestellt.

Da $Q_{i \cdot k} = Q_{k \cdot i}$ ist, wurden nur die Koeffizienten aufgeführt, für die $i \leq k$ ist. Die Indizes i und k der Tabelle 3 stimmen mit den Nummern 1–27 der Knotenpunkte des Gravimetereichsystems überein. Die Indizes 28 ... i , k ... 36 beziehen sich auf die Maßstabsfaktoren in der Reihenfolge der Tabelle 3.

3. Diskussion der Ergebnisse

Der unterschiedliche Gewichtsansatz hat die Ergebnisse praktisch nicht beeinflußt. Es erübrigt sich deshalb darüber zu diskutieren, welchem Ansatz der Vorzug zu geben ist. Darüberhinaus hat Marzahn in [4] gezeigt, daß auch wesentlich größere Gewichtsveränderungen die Schwerewerte des Gravimetereichsystems im Verhältnis zu den zugehörigen mittleren Fehlern kaum beeinflussen können.

Tabelle 3. Ausgeglichenen Maßstabsfaktoren

Nr. (Hd. Nr.)	Institut	Rechenstelle 1 (Bruins)		Rechenstelle 2 (Cook)		Rechenstelle 3 (Marzahn)		Endgültige Werte		Eichfaktor der Δg -Werte in [2], Über- sicht 4	$y^0 \cdot 10^4$	Eichfaktor der Δg -Werte in [2], Anlage II
		$y \cdot 10^4$	$m_y \cdot 10^4$	$y \cdot 10^4$	$m_y \cdot 10^4$	$y \cdot 10^4$	$m_y \cdot 10^4$	$y \cdot 10^4$	$m_y \cdot 10^4$	$Y = 1 + y$		$\bar{Y} = Y + y^0$
1 (28)	Geod. Inst., TH Han- nover	-2.2	± 1.8	-2.2	± 1.8	-2.2	± 1.8	-2.2	± 1.8	0.99978	0	0.99978
2 (29)	Osservatorio Geof. Sper. Trieste	+0.7	± 1.9	+0.5	± 2.0	+0.6	± 1.9	+0.6	± 2.0	1.00006	0	1.00006
3 (30)	Inst. f. Angew. Geod. Frankfurt/M.	-0.6	± 2.2	-0.6	± 2.2	-0.6	± 2.2	-0.6	± 2.2	0.99994	0	0.99994
4 (31)	Geod. Inst. d. TH Aachen/DGFI, I. Abt. München	-2.3	± 3.1	-2.4	± 3.1	-2.4	± 3.1	-2.4	± 3.1	0.99976	+15.0	1.00126
5 (32)	Ist. di Geodesia, Politecnico Milano	-1.6	± 2.6	-1.7	± 2.6	-1.7	± 2.6	-1.6	± 2.6	0.99984	0	0.99984
6 (33)	Norges geogr. oppm.	+2.9	± 3.2	+2.9	± 3.2	+2.9	± 3.2	+2.9	± 3.2	1.00029	+10.0	1.00129
7 (34)	Dänisches Geod. Inst.	+2.3	± 3.2	+2.7	± 3.2	+2.7	± 3.2	+2.8	± 3.2	1.00028	+10.0	1.00128
8 (35)	Österr. Bundesamt	-8.5	± 4.5	-8.6	± 4.5	-8.6	± 4.5	-8.6	± 4.5	0.99914	0	0.99914
9 (36)	Expéditions Polaires Françaises	-1.6	± 1.9	-1.8	± 1.9	-1.8	± 1.9	-1.7	± 1.9	0.99983	+10.0	1.00083

Die mittleren Fehler der Schwerewerte sind ein Maß für die äußere Genauigkeit der Schwereunterschiede gegen die Station Bad Harzburg. In Abb. 1 sind die mittleren Fehler in Abhängigkeit von der Größe der Schwereunterschiede aufgetragen. Diese graphische Darstellung zeigt sehr deutlich, daß sich die mittleren Fehler in der Hauptsache aus einem konstanten Anteil (etwa $0,04 \text{ mGal}$) und einem linear mit dem gemessenen Schwereunterschied wachsenden Anteil (etwa $1,4 \cdot 10^{-4} \cdot |\Delta g|$) zusammensetzen.

Da die Station Bad Harzburg verhältnismäßig zentral gelegen ist, wurden die aus den Gewichtskoeffizienten berechneten mittleren Fehler der Schwereunterschiede gegen die nördlichste Station Hammerfest in gleicher Weise aufgetragen (Abb. 2). Die mittleren Fehler für die Schwereunterschiede gegen die extrem gelegene Station Hammerfest haben die gleichen Eigenschaften wie die mittleren Fehler der Schwereunterschiede gegen die Station Bad Harzburg.

Obgleich die Verteilung der Gravimetermessungen über das Eichsystem nicht homogen ist, sind die mittleren Fehler praktisch nur von der Größe der ausgeglichenen Schwereunterschiede, nicht aber von der Lage der betreffenden Stationen im Eichsystem abhängig, d. h. aber, daß die Genauigkeit der ausgeglichenen Schwerewerte im Gegensatz zu vielen Vermutungen und Befürchtungen recht homogen ist. Der mittlere Maßstabsfehler, der fast ausschließlich durch die Pendelmessungen bedingt ist, ist für das europäische Gravimeter-eichsystem in seiner jetzigen Form kleiner als $2 \cdot 10^{-4}$. Die in der Empfehlung Nr. 19 ([1]) angegebene Grenze für den mittleren Eichfehler von $3 \cdot 10^{-4}$ ist damit noch deutlich unterschritten..

4. Die italienische Stellungnahme

Zu der auf Grund der Internationalen Empfehlungen ausgeführten Ausgleichung nach dem Verfahren von Cook hat die italienische Geodätische Kommission mit folgendem Brief vom 27. 3. 1962 Stellung genommen (Übersetzung aus dem Englischen):

„Sehr geehrter Herr Professor Kneißl!

Anläßlich der vor ein paar Tagen abgehaltenen Plenarsitzung der Italienischen Geodätischen Kommission hat Prof. Solaini namens der gravimetrischen Sub-Kommission über den Stand der Ausgleichung der europäischen Eichlinie referiert. Diese Ausgleichung führte das Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria der Technischen Hochschule Mailand und das Osservatorio Geofisico Sperimentale Triest durch.

Die Kommission hat mich unter Berücksichtigung des Standes der Messungen und der von Ihnen für das ganze europäische Netz vorgeschlagenen Ausgleichungsberechnungen beauftragt, Ihnen die Ansicht der Italienischen Geodätischen Kommission mitzuteilen.

Zunächst haben wir den großen Mangel an Homogenität in den mit Gravimetern entlang der Linie durchgeführten Messungen bemerkt. Tatsächlich existieren zwischen Catania und Bad Harzburg viele ausgezeichnete, von italienischen, deutschen und österreichischen Geodäten ausgeführte Messungen. Im Gegensatz dazu ist zwischen Flensburg und Hammerfest die Situation der Linie sehr schwierig.

Zweitens hat die Kommission die Ausgleichungsmethoden einer Überprüfung unterzogen. Die Einführung des komplexen Netzes mit dem Namen „Europäisches Gravimetereichsystem“ wird nicht für zweckmäßig angesehen, um die Genauigkeit und Einheitlichkeit zu erreichen, die für die beiden von der Linie zu erfüllenden Aufgaben not-

Abb.1

Mittlere Fehler $m_{\Delta g}$ der ausgeglichenen Schwereunterschiede Δg
gegen die Station Bad Harzburg

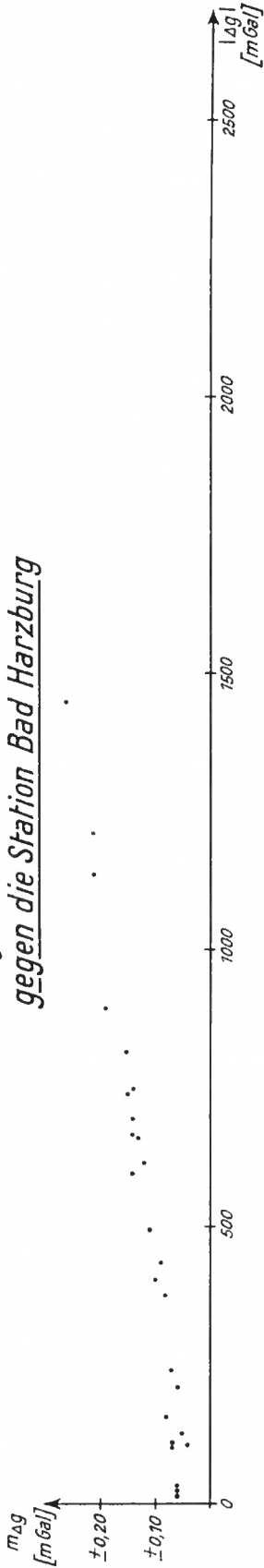
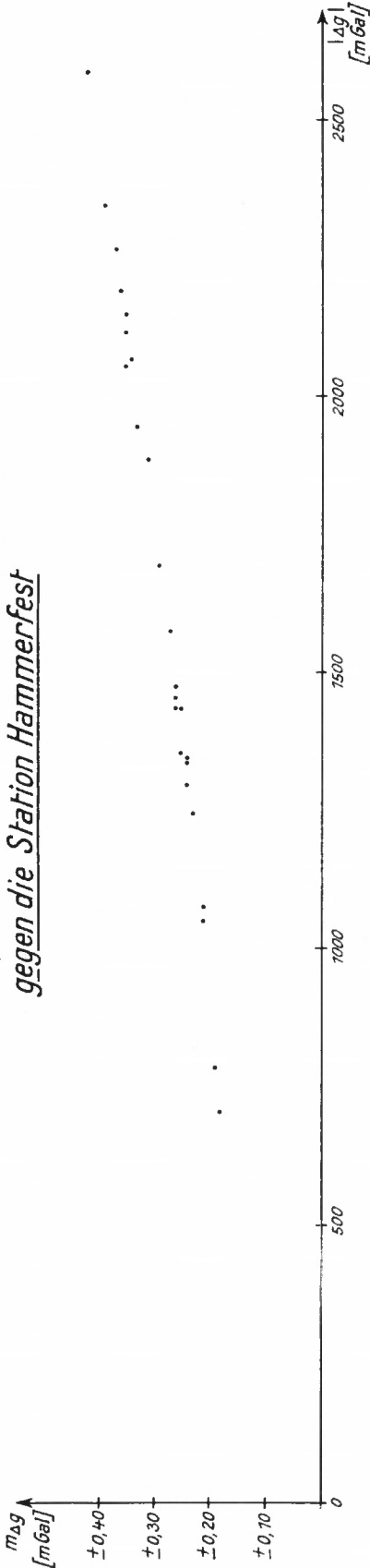


Abb.2

Mittlere Fehler $m_{\Delta g}$ der ausgeglichenen Schwereunterschiede Δg
gegen die Station Hammerfest



wendig sind, nämlich eine große Eichlinie und eine große Meridianlinie zu sein, was wichtig ist für die Einbeziehung in das Weltnetz I.O.

Die Italienische Geodätische Kommission glaubt daher, daß die an der Technischen Hochschule München durchgeführte Ausgleichung, die für die Aufstellung eines vorläufigen Systems von Schweredifferenzen im östlichen Europa sehr nützlich ist, nicht endgültig angenommen werden kann für die Aufstellung der g -Werte entlang der Eichlinie.

Die italienische Delegation wird diesen Gesichtspunkt bei der Tagung der Internationalen Gravimetrischen Kommission im nächsten September aufrecht erhalten.

Die Italienische Geodätische Kommission glaubt, daß es notwendig sei, weitere Messungen mit Gravimetern durchzuführen, mindestens zwischen Bad Harzburg und Bodö, und zwar mit den gleichen Methoden wie auf dem südlichen Teil der Linie. Außerdem sind weitere Pendelverbindungen, besonders zwischen Rom und Kopenhagen, erwünscht. Das Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria der Technischen Hochschule Mailand untersucht gegenwärtig die Möglichkeit der Durchführung dieser letzteren Messungen mit zwei Dreipendelapparaten, von denen einer kürzlich gebaut wurde.

Ich wäre sehr dankbar, wenn Sie mir Ihre Meinung zu dieser Sache mitteilen würden.

Mit besten Grüßen

Ihr sehr ergebener

DER PRÄSIDENT

gez. G. Cassinis“

U. E. ist es am wichtigsten, die Brauchbarkeit oder Unbrauchbarkeit einer Ausgleichung an Hand der Endergebnisse zu beurteilen, die den weiteren internationalen Arbeiten zugrunde gelegt werden sollen. Hier zeigt sich an Hand der in Abschnitt 3 mitgeteilten Untersuchungen, daß die aus den in der Tat unhomogenen Schweremessungen erhaltenen ausgeglichenen Schwerewerte durchaus homogen und als Grundlage für weitere internationale Arbeiten auch im Weltschwerenetz I. Ordnung geeignet sind.

Als Beispiel sei erwähnt, daß der Gesamtschwereunterschied zwischen Hammerfest und Catania $\Delta g = 2\,585,28$ mGal nur einen mittleren Fehler von $\pm 0,42$ mGal hat. Es bedarf sicher noch großer Anstrengungen, um das Weltschwerenetz I. Ordnung so homogen wie das jetzige europäische Gravimetereichsystem zu machen und seine Maßstabsgenauigkeit zu erreichen.

Selbstverständlich wird es möglich sein, durch weitere Messungen kleine, unbedeutende Verbesserungen am Eichsystem anzubringen, diese stehen aber in keinem Verhältnis zum Arbeitsaufwand. Das Ziel kann nicht sein, ein Eichsystem zu schaffen, das „so genau wie möglich“, sondern „so genau wie nötig“ ist; und die nötige Genauigkeit ist nach unserer Meinung jetzt erreicht, so daß wir vorschlagen, für die Arbeiten der nächsten Jahre die in Tabelle 2 angegebenen endgültigen Schwerewerte für verbindlich zu erklären. Sollte sich im Laufe der Jahre durch weitere genauere Messungen oder auch durch höhere Anforderungen in neuen Forschungsbereichen der Wunsch nach einer Verbesserung des jetzt vorgelegten Systems ergeben, so steht dem ja (genau wie jetzt bei der Verbesserung des Potsdamer Systems der Absolutwerte) nichts im Wege. Es geht aber nicht an, daß noch über Jahre hinaus verschiedene, sich im Grunde nur wenig unterscheidende nationale Maßstabssysteme benutzt werden.

Von der Festlegung der Schwerewerte der Knotenpunkte des Eichsystems ist grundsätzlich die Festlegung der Schwerewerte der zahlreichen Zwischenpunkte der

Tabelle 4. Gewichtungskoeffizienten Q_{ik}

i	k	Q_{ik}			i	k	Q_{ik}			i	k	Q_{ik}		
		R.St.1	R.St.2	R.St.3			R.St.1	R.St.2	R.St.3			R.St.1	R.St.2	R.St.3
1	1	+5.556	+5.558	+5.557	6	17	+0.204	+0.204	+0.204	8	8	+0.360	+0.363	+0.363
	2	+4.211	+4.208	+4.207		18	+0.085	+0.085	+0.085		9	+0.374	+0.372	+0.373
	3	+2.305	+2.303	+2.303		19	+0.124	+0.124	+0.124		10	+0.532	+0.529	+0.529
	4	+1.399	+1.396	+1.395		20	+0.133	+0.133	+0.133		11	+0.754	+0.748	+0.748
	5	+1.229	+1.229	+1.228		21	+0.192	+0.192	+0.192		12	+0.648	+0.644	+0.644
	6	+0.304	+0.304	+0.304		22	+0.146	+0.146	+0.146		13	+0.850	+0.844	+0.845
	8	-0.464	-0.462	-0.462		23	+0.117	+0.116	+0.116		14	-0.206	-0.198	-0.198
	9	-1.053	-1.052	-1.052		24	+0.118	+0.117	+0.117		15	-0.004	-0.004	-0.004
	10	-1.512	-1.510	-1.510		25	+0.119	+0.118	+0.118		16	+0.018	+0.018	+0.018
	11	-2.243	-2.242	-2.240		26	+0.120	+0.119	+0.119		17	+0.095	+0.095	+0.096
	12	-2.055	-2.053	-2.053		27	+0.090	+0.089	+0.089		18	+0.010	+0.010	+0.010
	13	-2.892	-2.890	-2.889		28	+0.006	+0.006	+0.006		19	+0.056	+0.056	+0.056
	14	+2.045	+2.045	+2.044		29	+0.005	+0.005	+0.005		20	+0.123	+0.123	+0.123
	15	+0.717	+0.716	+0.716		30	-0.006	-0.006	-0.006		21	+0.189	+0.189	+0.189
	16	+0.551	+0.551	+0.550		31	+0.007	+0.008	+0.008		22	+0.219	+0.218	+0.219
	17	+0.492	+0.492	+0.491		32	-0.010	-0.009	-0.009		23	+0.459	+0.458	+0.458
	18	+0.381	+0.380	+0.381		33	+0.005	+0.005	+0.005		24	+0.544	+0.542	+0.542
	19	+0.421	+0.421	+0.420		34	+0.005	+0.005	+0.005		25	+0.058	+0.054	+0.054
	20	+0.195	+0.196	+0.195		35	-0.004	-0.004	-0.004		26	+0.621	+0.618	+0.618
	21	+0.133	+0.133	+0.133		36	+0.012	+0.013	+0.013		27	+0.539	+0.536	+0.536
	22	-0.170	-0.169	-0.170							28	-0.058	-0.058	-0.058
	23	-1.183	-1.182	-1.181										
	24	-1.459	-1.458	-1.456										
	25	-1.823	-1.821	-1.820										
	26	-1.699	-1.698	-1.697										
	27	-1.639	-1.638	-1.637										
	28	+0.279	+0.279	+0.279										
	29	+0.268	+0.268	+0.268										
	30	+0.256	+0.256	+0.256										
	31	+0.273	+0.272	+0.272										
	32	+0.252	+0.252	+0.252										
	33	+0.445	+0.444	+0.444										
	34	+0.445	+0.444	+0.444										
	35	+0.263	+0.263	+0.263										
	36	+0.277	+0.277	+0.277										
2	2	+3.616	+3.613	+3.612	8	8	+0.360	+0.363	+0.363	8	8	+0.360	+0.363	+0.363
	3	+2.129	+2.127	+2.127		9	+0.374	+0.372	+0.373		9	+0.374	+0.372	+0.373
	4	+1.203	+1.200	+1.200		10	+0.532	+0.529	+0.529		10	+0.532	+0.529	+0.529
	5	+1.128	+1.127	+1.127		11	+0.754	+0.748	+0.748		11	+0.754	+0.748	+0.748
	6	+0.292	+0.293	+0.292		12	+0.648	+0.644	+0.644		12	+0.648	+0.644	+0.644
						13	+0.850	+0.844	+0.845		13	+0.850	+0.844	+0.845
						14	-0.206	-0.198	-0.198		14	-0.206	-0.198	-0.198
	8	-0.400	-0.398	-0.398		15	-0.004	-0.004	-0.004		15	-0.004	-0.004	-0.004

4	2	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481	1482	1483	1484	1485	1486	1487	1488	1489	1490	1491	
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--

Tabelle 4. Gewichtskoeffizienten Q_{ik} (Fortsetzung)

i	k	Q_{ik}			i	k	Q_{ik}			i	k	Q_{ik}		
		R.St. 1	R.St. 2	R.St. 3			R.St. 1	R.St. 2	R.St. 3			R.St. 1	R.St. 2	R.St. 3
10	20	+0.085	+0.084	+0.084	13	32	-0.319	-0.319	-0.319	17	32	+0.012	+0.012	+0.012
	21	+0.182	+0.181	+0.181		33	-0.170	-0.170	-0.170		33	+0.017	+0.017	+0.017
	22	+0.321	+0.321	+0.321		34	-0.170	-0.170	-0.170		34	+0.017	+0.017	+0.017
	23	+0.938	+0.937	+0.937		35	-0.313	-0.313	-0.313		35	+0.017	+0.017	+0.017
	24	+1.107	+1.107	+1.106		36	-0.285	-0.288	-0.288		36	+0.030	+0.030	+0.030
	25	+1.330	+1.330	+1.330	14	14	+1.576	+1.591	+1.590	18	18	+0.155	+0.155	+0.155
	26	+1.255	+1.254	+1.254		15	+0.483	+0.481	+0.481		19	+0.120	+0.120	+0.120
	27	+1.172	+1.172	+1.172		16	+0.372	+0.372	+0.372		20	+0.104	+0.104	+0.104
	28	-0.151	-0.151	-0.151		17	+0.364	+0.364	+0.364		21	+0.075	+0.075	+0.075
	29	-0.164	-0.164	-0.164		18	+0.257	+0.256	+0.257		22	+0.049	+0.049	+0.049
10	30	-0.171	-0.171	-0.171	15	19	+0.289	+0.288	+0.288	18	23	-0.062	-0.062	-0.062
	31	-0.156	-0.156	-0.156		20	+0.168	+0.169	+0.169		24	-0.088	-0.087	-0.087
	32	-0.173	-0.173	-0.173		21	+0.150	+0.153	+0.153		25	-0.121	-0.120	-0.120
	33	-0.092	-0.092	-0.092		22	-0.043	-0.042	-0.043		26	-0.110	-0.109	-0.109
	34	-0.092	-0.092	-0.092		23	-0.648	-0.649	-0.648		27	-0.113	-0.112	-0.112
	35	-0.167	-0.167	-0.167	16	24	-0.818	-0.821	-0.820	19	28	+0.028	+0.028	+0.028
	36	-0.157	-0.158	-0.158		25	-1.048	-1.054	-1.054		29	+0.025	+0.025	+0.025
	11	+2.979	+2.985	+2.983		26	-0.967	-0.971	-0.970		30	+0.021	+0.021	+0.021
	12	+2.021	+2.023	+2.023		27	-0.928	-0.932	-0.931		31	+0.030	+0.030	+0.030
	13	+2.770	+2.774	+2.772		28	+0.162	+0.162	+0.162		32	+0.019	+0.019	+0.019
11	14	-1.307	-1.317	-1.316	14	29	+0.161	+0.163	+0.163	18	33	+0.017	+0.017	+0.017
	15	-0.324	-0.341	-0.340		30	+0.149	+0.149	+0.149		34	+0.017	+0.017	+0.017
	16	-0.230	-0.230	-0.229		31	+0.163	+0.163	+0.163		35	+0.023	+0.023	+0.023
	17	-0.087	-0.088	-0.087		32	+0.144	+0.145	+0.145		36	+0.027	+0.027	+0.027
	18	-0.161	-0.160	-0.160		33	+0.097	+0.098	+0.097	19	19	+0.395	+0.395	+0.395
	19	-0.094	-0.094	-0.093	15	34	+0.097	+0.098	+0.097		20	+0.122	+0.122	+0.122
	20	+0.096	+0.095	+0.096		35	+0.152	+0.153	+0.153		21	+0.119	+0.119	+0.119
	21	+0.232	+0.230	+0.231		36	+0.178	+0.182	+0.182		22	+0.103	+0.103	+0.103
	22	+0.427	+0.426	+0.426		15	+0.307	+0.307	+0.307		23	-0.009	-0.009	-0.008
	23	+1.306	+1.306	+1.305	15	15	+0.227	+0.227	+0.227		24	-0.030	-0.030	-0.030
11	24	+1.637	+1.638	+1.637		16	+0.205	+0.205	+0.205		25	-0.059	-0.059	-0.059
	25	+2.261	+2.264	+2.264		17	+0.158	+0.158	+0.158		26	-0.049	-0.049	-0.049
	26	+1.934	+1.936	+1.935		18	+0.182	+0.182	+0.182		27	-0.056	-0.056	-0.056
	27	+1.650	+1.661	+1.661		19	+0.148	+0.148	+0.148		28	+0.028	+0.028	+0.028
	28	-0.219	-0.219	-0.219		20	+0.122	+0.122	+0.122	19	29	+0.021	+0.021	+0.021
	29	-0.254	-0.254	-0.254	15	21	+0.061	+0.061	+0.061		30	+0.013	+0.013	+0.013
	30	-0.243	-0.243	-0.243		22	-0.147	-0.146	-0.146		31	+0.029	+0.029	+0.029
	31	-0.229	-0.230	-0.230		23	-0.197	-0.196	-0.196		32	+0.011	+0.011	+0.011
	32	-0.247	-0.247	-0.247		24	-0.263	-0.262	-0.262		33	+0.017	+0.017	+0.017
	33	-0.133	-0.133	-0.133		25	-0.240	-0.240	-0.240		34	+0.017	+0.017	+0.017
	34	-0.133	-0.133	-0.133	15	26	-0.240	-0.240	-0.240					

11	35	-0.240	-0.240	-0.240	-0.240	-0.241	19	35	+0.023	+0.023	+0.023	+0.023
11	36	-0.237	-0.240	-0.240	-0.240	+0.053	19	36	+0.025	+0.025	+0.025	+0.025
12	12	+1.892	+1.892	+1.892	+1.892	+0.049	20	20	+0.341	+0.341	+0.341	+0.341
12	13	+2.556	+2.557	+2.557	+2.557	+0.044	21	21	+0.134	+0.134	+0.134	+0.134
12	14	-1.168	-1.173	-1.173	-1.173	+0.058	22	22	+0.130	+0.130	+0.130	+0.130
12	15	-0.314	-0.313	-0.313	-0.313	+0.040	23	23	+0.095	+0.095	+0.095	+0.095
12	16	-0.216	-0.215	-0.215	-0.215	+0.032	24	24	+0.098	+0.098	+0.098	+0.098
12	17	-0.083	-0.083	-0.083	-0.083	+0.032	25	25	+0.101	+0.100	+0.100	+0.100
12	18	-0.150	-0.149	-0.149	-0.149	+0.045	26	26	+0.100	+0.099	+0.099	+0.100
12	19	-0.093	-0.093	-0.093	-0.093	+0.054	27	27	+0.074	+0.074	+0.074	+0.074
12	20	+0.077	+0.076	+0.076	+0.076	+0.066	28	28	+0.066	+0.066	+0.066	+0.066
12	21	+0.196	+0.195	+0.195	+0.195	+0.062	29	29	+0.002	+0.002	+0.002	+0.002
12	22	+0.385	+0.384	+0.384	+0.384	+0.005	30	30	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005
12	23	+1.158	+1.157	+1.157	+1.157	+0.008	31	31	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008
12	24	+1.392	+1.392	+1.392	+1.392	+0.008	32	32	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008
12	25	+1.694	+1.694	+1.694	+1.694	+0.004	33	33	+0.004	+0.004	+0.004	+0.004
12	26	+1.598	+1.598	+1.598	+1.598	+0.004	34	34	+0.004	+0.004	+0.004	+0.004
12	27	+1.525	+1.525	+1.525	+1.525	+0.003	35	35	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
12	28	-0.202	-0.201	-0.201	-0.201	+0.006	36	36	+0.006	+0.006	+0.006	+0.006
12	29	-0.213	-0.214	-0.214	-0.214	-0.125	20	20	-0.125	-0.125	-0.125	-0.125
12	30	-0.221	-0.220	-0.220	-0.220	-0.172	21	21	-0.172	-0.172	-0.172	-0.172
12	31	-0.212	-0.211	-0.211	-0.211	-0.156	22	22	-0.156	-0.156	-0.156	-0.156
12	32	-0.226	-0.225	-0.225	-0.225	-0.163	23	23	-0.163	-0.163	-0.163	-0.163
12	33	-0.123	-0.123	-0.123	-0.123	+0.040	24	24	+0.040	+0.040	+0.040	+0.040
12	34	-0.123	-0.123	-0.123	-0.123	+0.036	25	25	+0.036	+0.036	+0.036	+0.036
12	35	-0.232	-0.232	-0.232	-0.232	+0.031	26	26	+0.031	+0.031	+0.031	+0.031
12	36	-0.206	-0.208	-0.208	-0.208	+0.043	27	27	+0.043	+0.043	+0.043	+0.043
13	13	+3.618	+3.619	+3.619	+3.619	+0.027	28	28	+0.027	+0.027	+0.027	+0.027
13	14	-1.662	-1.669	-1.669	-1.669	+0.024	29	29	+0.024	+0.024	+0.024	+0.024
13	15	-0.469	-0.468	-0.468	-0.468	+0.024	30	30	+0.024	+0.024	+0.024	+0.024
13	16	-0.329	-0.328	-0.328	-0.328	+0.033	31	31	+0.033	+0.033	+0.033	+0.033
13	17	-0.158	-0.158	-0.158	-0.158	+0.040	32	32	+0.040	+0.040	+0.040	+0.040
13	18	-0.228	-0.227	-0.227	-0.227	+0.425	33	33	+0.425	+0.425	+0.425	+0.425
13	19	-0.161	-0.161	-0.161	-0.161	+0.114	34	34	+0.114	+0.114	+0.114	+0.114
13	20	+0.072	+0.071	+0.071	+0.071	+0.150	35	35	+0.150	+0.150	+0.150	+0.150
13	21	+0.230	+0.227	+0.227	+0.227	+0.138	36	36	+0.138	+0.138	+0.138	+0.138
13	22	+0.494	+0.493	+0.493	+0.493	+0.219	22	22	+0.219	+0.219	+0.219	+0.219
13	23	+1.565	+1.564	+1.564	+1.564	+0.004	23	23	+0.004	+0.004	+0.004	+0.004
13	24	+1.891	+1.892	+1.892	+1.892	+0.017	24	24	+0.017	+0.017	+0.017	+0.017
13	25	+2.311	+2.312	+2.312	+2.312	-0.045	25	25	-0.045	-0.045	-0.045	-0.045
13	26	+2.178	+2.179	+2.179	+2.179	-0.036	26	26	-0.036	-0.036	-0.036	-0.036
13	27	+2.066	+2.066	+2.066	+2.066	-0.054	27	27	-0.054	-0.054	-0.054	-0.054
13	28	-0.280	-0.279	-0.279	-0.279	+0.028	28	28	+0.028	+0.028	+0.028	+0.028
13	29	-0.301	-0.301	-0.301	-0.301	+0.026	29	29	+0.026	+0.026	+0.026	+0.026
13	30	-0.307	-0.307	-0.307	-0.307	+0.016	30	30	+0.016	+0.016	+0.016	+0.016
13	31	-0.314	-0.314	-0.314	-0.314	+0.029	31	31	+0.029	+0.029	+0.029	+0.029

Tabelle 4. Gewichtungskoeffizienten Q_{ik} (Fortsetzung)

i	k	Q_{ik}			i	k	Q_{ik}			i	k	Q_{ik}		
		R.St.1	R.St.2	R.St.3			R.St.1	R.St.2	R.St.3			R.St.1	R.St.2	R.St.3
22	32	-0.046	-0.046	-0.046	25	33	-0.110	-0.110	-0.110	29	33	+0.015	+0.015	+0.015
	33	-0.018	-0.018	-0.018		34	-0.110	-0.110	-0.110		34	+0.015	+0.015	+0.015
	34	-0.018	-0.018	-0.018		35	-0.200	-0.200	-0.200		35	+0.026	+0.026	+0.026
	35	-0.038	-0.038	-0.038		36	-0.195	-0.197	-0.197		36	+0.026	+0.026	+0.026
23	23	-0.029	-0.029	-0.029	26	26	+1.639	+1.638	+1.638	30	30	+0.040	+0.040	+0.040
	24	+0.990	+0.989	+0.989		27	+1.323	+1.323	+1.323		31	+0.026	+0.026	+0.026
	25	+1.031	+1.030	+1.030		28	-0.170	-0.169	-0.169		32	+0.028	+0.028	+0.028
	26	+1.106	+1.105	+1.105		29	-0.195	-0.195	-0.195		33	+0.015	+0.015	+0.015
24	27	+1.055	+1.054	+1.054	26	30	-0.191	-0.191	-0.191	30	34	+0.015	+0.015	+0.015
	28	+0.957	+0.956	+0.956		31	-0.178	-0.177	-0.178		35	+0.025	+0.025	+0.025
	29	-0.122	-0.121	-0.121		32	-0.195	-0.195	-0.195		36	+0.025	+0.025	+0.025
	30	-0.132	-0.132	-0.132		33	-0.103	-0.103	-0.103	31	31	+0.081	+0.081	+0.081
25	31	-0.139	-0.139	-0.139	27	34	-0.103	-0.103	-0.103		32	+0.027	+0.027	+0.027
	32	-0.123	-0.123	-0.123		35	-0.188	-0.188	-0.188		33	+0.015	+0.015	+0.015
	33	-0.141	-0.141	-0.141		36	-0.180	-0.182	-0.182		34	+0.015	+0.015	+0.015
	34	-0.074	-0.074	-0.074		27	+1.320	+1.319	+1.319		35	+0.028	+0.028	+0.028
26	35	-0.131	-0.131	-0.131	28	28	-0.162	-0.162	-0.162	32	36	+0.025	+0.025	+0.025
	36	-0.124	-0.124	-0.124		29	-0.174	-0.174	-0.174		32	+0.056	+0.056	+0.056
	24	+1.706	+1.706	+1.706		30	-0.183	-0.183	-0.183		33	+0.015	+0.015	+0.015
	25	+1.387	+1.386	+1.386		31	-0.170	-0.169	-0.170		34	+0.015	+0.015	+0.015
27	27	+1.359	+1.359	+1.359	27	32	-0.186	-0.186	-0.186	32	35	+0.026	+0.026	+0.026
	28	+1.151	+1.151	+1.151		33	-0.099	-0.099	-0.099		36	+0.025	+0.025	+0.025
	29	-0.147	-0.147	-0.147		34	-0.099	-0.099	-0.099		33	+0.084	+0.084	+0.084
	30	-0.165	-0.166	-0.166		35	-0.184	-0.184	-0.184		34	+0.047	+0.047	+0.047
28	31	-0.167	-0.167	-0.167	28	36	-0.166	-0.168	-0.168	33	35	+0.015	+0.015	+0.015
	32	-0.152	-0.152	-0.152		28	+0.026	+0.026	+0.026		36	+0.015	+0.015	+0.015
	33	-0.170	-0.170	-0.170		29	+0.025	+0.025	+0.025		34	+0.084	+0.084	+0.084
	34	-0.090	-0.090	-0.090		30	+0.025	+0.025	+0.025		35	+0.015	+0.015	+0.015
29	35	-0.161	-0.161	-0.161	28	31	+0.025	+0.025	+0.025	34	36	+0.015	+0.015	+0.015
	36	-0.154	-0.155	-0.155		32	+0.025	+0.025	+0.025		35	+0.169	+0.169	+0.169
	25	+1.946	+1.947	+1.947		33	+0.016	+0.016	+0.016		36	+0.026	+0.026	+0.026
	26	+1.640	+1.640	+1.640		34	+0.016	+0.016	+0.016	35	36	+0.031	+0.031	+0.031
30	27	+1.394	+1.394	+1.394	29	35	+0.025	+0.025	+0.025		36	+0.029	+0.029	+0.029
	28	-0.181	-0.181	-0.181		36	+0.025	+0.025	+0.025		36	+0.029	+0.029	+0.029
	29	-0.207	-0.208	-0.208		29	+0.032	+0.032	+0.032					
	30	-0.203	-0.202	-0.202		30	+0.026	+0.026	+0.026					
31	31	-0.189	-0.189	-0.189	29	31	+0.026	+0.026	+0.026	36	36	+0.026	+0.026	+0.026
	32	-0.206	-0.206	-0.206		32	+0.027	+0.027	+0.027					

Linie Hammerfest – Catania zu unterscheiden. Die Knotenpunkte bilden auf Grund ihrer hohen Maßstabsgenauigkeit, die sie auch aus den Pendelmessungen außerhalb der Linie Hammerfest–Catania beziehen, den übergeordneten Rahmen, in den die Linienmessungen eingepaßt werden sollten. Wir stimmen in dem Punkt mit der italienischen Kommission vollständig überein, daß es für die Festlegung der Schwerewerte der Zwischenpunkte im nördlichen Abschnitt von Bad Harzburg bis Hammerfest wünschenswert wäre, wenn alle Unterabschnitte mit mehreren Gravimetern nachgemessen würden. Diese Messungen und die Festlegung der Zwischenwerte ergeben jedoch nur Vergleichsmöglichkeiten für die nichtlinearen Anteile in den Gravimeteereichfunktionen. Die lineare Maßstabsgenauigkeit aber, die durch das Eichsystem gesichert werden soll, bleibt davon praktisch unberührt. – Hier würden nur weitere ausgedehnte Pendelmessungen Genauigkeitssteigerungen bringen. Wie gering aber der Nutzeffekt weiterer Pendelmessungen ist, zeigt die folgende Abschätzung: Der Minimalwert des mittleren Maßstabsfehlers (d.i. der mittlere Maßstabsfehler, der erreicht wird, wenn die Gravimetermessungen fehlerfrei sind) ist z. Z. bei einem mittleren Fehler einer Pendelmessung von

$$m_0 = \pm 0,42 \text{ mGal (vgl. [4])}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{[\Delta g^2]}} = \frac{0,42}{\sqrt{7700000}} = \pm 1,51 \cdot 10^{-4}.$$

Würde man nun noch zusätzlich, wie in dem oben mitgeteilten Brief vorgeschlagen, den Schwereunterschied Rom–Kopenhagen $\Delta g' = 1200 \text{ mGal}$ direkt mit der gleichen Genauigkeit messen, so wäre der Minimalwert des mittleren Maßstabsfehlers

$$m' = \frac{m_0}{\sqrt{[\Delta g^2] + \Delta g'^2}} = \pm 1,39 \cdot 10^{-4}.$$

Würde man dagegen, wie ja auch schon vorgeschlagen wurde, alle Pendelmessungen außerhalb der Linie Hammerfest – Catania verwerfen, so würde der Minimalwert des mittleren Maßstabsfehlers, der dem Wert $m = \pm 1,51 \cdot 10^{-4}$ entspricht,

$$m'' = \frac{0,42}{\sqrt{3240000}} = \pm 2,33 \cdot 10^{-4}.$$

Aus diesem Vergleich sieht man, wie wichtig gerade auch die Pendelmessungen des westlichen Teils des Eichsystems für die Maßstabsfestlegung sind.

Da sich nun andererseits der tatsächlich erhaltene mittlere Maßstabsfehler z. B. für den Gesamtschwereunterschied Hammerfest–Catania

$$\pm \frac{0,42}{2585} = \pm 1,63 \cdot 10^{-4}$$

kaum von dem Minimalwert $\pm 1,51 \cdot 10^{-4}$ unterscheidet, läßt sich die äußere Genauigkeit im Eichsystem durch die Einbeziehung neuer Gravimetermessungen praktisch kaum noch steigern.

Auf Grund all dieser Überlegungen können wir die Bedenken der Italienischen Geodätischen Kommission nicht teilen und schlagen nochmals vor, die in Tabelle 2, vorletzte Spalte angegebenen Schwerewerte, bezogen auf die Station Bad Harzburg, als endgültig anzuerkennen. Die Möglichkeit oder die Notwendigkeit einer späteren Verbesserung dieses Systems bleibt davon natürlich unberührt. Man sollte an eine Verbesserung aber erst denken, wenn sich statistisch gesicherte Korrekturen nachweisen lassen.

LITERATUR

- [1] Resolutionen der Internationalen Assoziation für Geodäsie. Bull. géod. Nr. 58, Paris 1. 12. 1960.
- [2] Kneißl, M., Das europäische Gravimeter-Eichsystem, Unterlagen und Vorbericht zur einheitlichen internationalen Ausgleichung nach der Methode von Dr. A. H. Cook. Abh. d. Bayer. Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl. N.F. Heft 111, München 1963.
- [3] Marzahn, K., Vorschläge für den Gewichtsansatz und sein Einfluß auf die Ausgleichung des europäischen Gravimeter-Eichsystems. Erster Teil dieser Abhandlung.
- [4] Marzahn, K., Die Ausgleichung der Pendel- und Gravimetermessungen des europäischen Gravimeter-eichsystems. Veröff. d. DGK, Reihe C, Heft Nr. 59, München 1963.

Bezugswert: $g_{\text{Bad Harzburg}} = 981\,180,40 \text{ mGal}$

$$m_0 = \sqrt{\frac{14\,546}{157-35}} = \pm 10,9 \left[\frac{\text{mGal}}{100} \right] \quad [p v v] = 14\,546$$

Anlage II

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	+ [iI]		
+2.18	−2.12	.	.	.	−0.06	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	− 2.45	− 2.45	.	.	+ 0.32		
	+5.30	−3.18	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	− 4.60	.	.	.	.	− 2.15	− 2.15	.	.	− 15.48		
		+7.60	−1.06	− 1.18	−1.18	.	.	.	.	.	.	−1.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	−10.66	.	.	.	.	+ 4.60	+ 4.60	.	.	+ 2.76	
			+5.33	− 2.00	−1.12	− 0.15	.	.	.	.	.	.	− 1.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	− 2.63	− 0.26	.	.	.	.	.	.	− 0.965	− 41.70	
				+13.36	−1.00	.	.	.	.	− 1.00	.	−2.00	− 3.00	.	− 1.00	.	.	.	−1.00	− 1.00	.	.	.	.	.	.	−15.41	− 5.44	− 1.68	.	.	.	.	.	+ 0.18	+ 72.58	
					+9.66	− 3.12	− 0.06	.	.	.	.	.	.	.	− 1.00	.	.	.	−1.00	− 1.00	.	.	.	.	.	.	+11.76	− 0.40	.	.	.	.	.	.	− 5.12	+119.04	
						+20.33	− 1.06	−2.00	.	− 3.00	.	−1.00	.	.	.	.	.	−1.00	−2.00	− 1.00	−1.00	.	−2.00	−3.00	.	− 1.43	−18.16	.	.	.	.	.	.	− 7.495	−364.44		
							+20.42	−2.06	.	− 1.06	.	.	.	.	.	.	−1.00	.	.	− 2.00	−1.00	.	.	.	− 6.00	+ 2.64	+ 7.26	+10.84	− 2.23	+ 2.13	.	.	−2.23	.	+157.22		
								+8.12	.	− 3.06	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	−1.00	.	.	.	.	− 0.22	+ 2.74	.	.	.	.	.	.	+ 3.75	+177.36		
									+3.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	−3.00	.	.	.	+ 3.10	.	.	.	.	.	.	+ 1.55	− 4.00		
										+24.30	−8.12	.	.	.	.	.	.	.	.	− 1.00	.	.	.	.	.	− 7.00	+25.68	− 2.35	− 1.60	− 1.60	− 1.60	.	.	+1.57	+11.54	−128.20	
											+8.12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+ 6.34	+ 9.51	+ 3.17	+ 3.17	+ 3.17	.	.	.	.	+ 69.02	
												+4.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	− 2.06	.	.	.	.	.	.	.	−11.93	+ 41.00	
													+14.00	−1.00	− 1.00	− 5.00	−1.00	−1.00	.	− 1.00	.	.	.	.	.	− 4.27	+ 0.66	− 1.38	− 1.02	.	.	.	.	.	+ 51.00		
														+3.00	.	− 1.00	.	−1.00	.	.	.	.	.	.	.	.	− 1.29	.	.	.	.	.	.	.	+ 77.00		
															+ 5.00	.	.	.	−2.00	.	.	.	.	.	.	.	+ 0.10	− 1.32	.	.	.	.	.	+ 1.38	+ 24.00		
																+15.00	−1.00	−1.00	.	− 1.00	.	.	.	.	.	.	− 3.77	− 0.11	− 0.15	− 0.05	.	.	.	.	− 84.00		
																	+4.00	.	.	− 1.00	.	.	.	.	.	.	− 6.53	+ 0.06	.	.	.	.	.	.	− 37.00		
																		+5.00	.	− 1.00	.	.	.	.	.	.	+ 0.15	.	.	.	.	.	.	.	+127.00		
																			+8.00	− 2.00	.	.	.	.	.	.	− 0.99	+ 2.60	.	.	.	.	.	.	− 58.00		
																				+13.00	−1.00	.	.	.	.	.	+ 1.76	− 2.14	.	.	.	.	.	.	+ 16.00		
																					+5.00	−1.00	.	.	.	.	+ 3.70	+ 0.83	.	.	.	.	.	.	− 19.00		
																						+2.00	.	−1.00	.	.	+ 0.13	.	.	.	.	.	.	.	− 6.00		
																								+7.00	−2.00	.	.	+ 2.34	.	.	.	.	.	+ 3.89	+ 20.00		
																										+7.00	− 1.00	.	+ 9.84	.	.	.	.	.	+ 4.06	+ 47.00	
																											+14.00	+ 0.66	− 1.24	+ 0.67	+ 0.66	+ 0.66	.	.	+0.66	.	− 9.00
																												549.93	.	.	.	.	.	.	.	.	−539.54
																													223.00	.	.	.	.	.	.	.	+668.67
																														+83.94	.	.	.	.	.	.	+169.73
																															+19.67	.	.	.	.	.	− 21.86
																																+36.50	.	.	.	.	+ 47.18
																																	+27.16	.	.	.	+ 59.80
																																		+27.16	.	.	+ 55.80
																																			+7.44	.	− 63.78
																																				+251.70	−204.38
																																				[pII]=	33196.22

Normalgleichungskoeffizienten
(abgekürzte Schreibweise; $[i\,k] = [k\,i]$)