C. & G. SURVEY,
LIBRARY AND ARCHIVES
NOV 9 - 1909
Acc No. - 33631

# ERDMAGNETISCHE SEE-BEOBACHTUNGEN

## UND ANSCHLIESSENDE UNTERSUCHUNGEN

VON

Dr. FRIEDRICH BIDLINGMAIER
PHYSIKER DER EXPEDITION

LIBRARY
NOV 07 2008
National Oceanic &
Atmospheric Administration
U.S. Dept. of Commerce

I. TEIL

## DIE GRUNDLAGEN

Q
115
.D483
1905
Bd. 5
Heft 2

MIT TAFEL I—IV
UND 15 ABBILDUNGEN IM TEXT



1909

# National Oceanic and Atmospheric Administration

## International Polar Year (IPY) 2007-2008

### ERRATA NOTICE

One or more conditions of the original document may affect the quality of the image, such as:

Discolored pages
Faded or light ink
Binding intrudes into the text

This has been a co-operative project between the NOAA Central Library and the Climate Database Modernization Program, National Climate Data Center (NCDC). To view the original document contact the NOAA Central Library in Silver Spring, MD at (301) 713-2607 x124 or Library.Reference@noaa.gov.

HOV Services
12200 Kiln Court
Beltsville, MD 20704-1387
February 25, 2008

Blank page retained for pagination

# Inhaltsübersicht.

Seite

Inhaltsübersicht . . . . . 107

Zur Einführung . . . . . 111

Stand der Dinge bei Übernahme der Aufgabe. Ziel und Vorbilder. — Instrumentelle Grundlagen. — Die Schiffsschwankungen und ihre äußeren Schwierigkeiten. — Umfang unsres Beobachtungsmaterials. — Die inneren Schwierigkeiten der Schiffsschwankungen. — Das Schiffseisen und seine Überwindung. — Die Verarbeitung des Materials. — Danksagung.

**Erstes Kapitel. Beschreibung der instrumentellen Hilfsmittel und der damit gemachten Erfahrungen.**

§ 1. Der magnetische Reisetheodolit . . . . . 117

Einleitung: Geschichte und Material. — Der eigentliche Theodolit: Unterbau, Limbus, Alhidade, Fernrohr. — Die Aufsatz- und Ansatzteile: Deklinatorium, Ablenkungsschienen und Schutzröhren, Schwingungskasten. — Zubehör: Die Magnete, magnetisches, astronomisches und praktisch nützliches Zubehör, Reserveteile, Verpackung.

§ 2. Das große Inklinatorium Tesdorpf . . . . . 123

Geschichte und Material. — Unterbau. — Lager und Arretierungseinrichtung für die Nadeln. — Teilkreis und Anordnung der Nadeln zu demselben. — Ableseeinrichtung. — Einrichtung zur Bestimmung der Total- bzw. Vertikalintensität.

§ 3. Das Deviations-Magnetometer (D. M.) . . . . . 126

Geschichte und Charakter des Instruments. — Unterbau. — Aufsatzteile für Deklination. — Aufsatzteile für Horizontalintensität. — Aufsatzteile für Inklination. — Zubehör.

§ 4. Der Lloyd-Creak-Apparat (L. C.). . . . . 130

Geschichte des Apparates. — Unterbau. — Lager für Nadelachsen. — Arretierungseinrichtung. — Teilkreis. — Nadeln. — Zubehör.

§ 5. Der Schlingertisch an Bord . . . . . 134

Bestandteile. — Mangel. — Lage an Bord.

**Zweites Kapitel. Die Grundlagen der Intensitätsmessungen: Messungen mit dem Reisetheodoliten auf den Basisstationen.**

Abschnitt I. Die Theorie der Beobachtungen.

§ 6. Allgemeine Darstellung der Methode . . . . . 135

§ 7. Einfluß der einzelnen Fehler auf die Sicherheit von H . . . . . 139

Seite
§ 8. Einfluß der Temperatur . . . . . 140
§ 9. Einfluß der Torsion . . . . . 142
§ 10. Einfluß der Induktion . . . . . 144
§ 11. Absolute und relative Messungen. . . . . 145

Abschnitt II. Die Anlage der Beobachtungen.

§ 12. Allgemeine Bemerkungen . . . . . 147
§ 13. Bemerkungen zu den Ablenkungen . . . . . 148
§ 14. Bemerkungen zu den Schwingungen . . . . . 150
§ 15. Ausführliche Wiedergabe eines vollen Beobachtungssatzes . . . . . 151

Abschnitt III. Die Messungen in Potsdam vor und nach der Reise. Konstanten und Koeffizienten.

§ 16. Die Beobachtungen vor der Reise . . . . . 156
§ 17. Die Konstanten log C vor der Reise . . . . . 159
§ 18. Die Beobachtungen nach der Reise . . . . . 160
§ 19. Annähernde Temperaturkoeffizienten von log sin $\varphi$ und log T. . . . . 163
§ 20. Die Konstanten log C und ihre Temperaturkoeffizienten nach der Reise . . . . 166
§ 21. Die Induktionskoeffizienten . . . . . 171
§ 22. Zusammenstellung der Reduktionsformeln . . . . . 172
§ 23. Untersuchung über die Gleichwertigkeit der Messungen mit Bez. o. und Bez. u. . 173
§ 24. Die Bestimmungsstücke zur Berechnung des magnetischen Moments . . . . . 173

Abschnitt IV. Die Beobachtungen auf den übrigen Basisstationen.

§ 25. Vorbemerkungen . . . . . 175
§ 26. Kapstadt. . . . . 176
§ 27. Kerguelen . . . . . 180
§ 28. Gaussstation in der Antarktis . . . . . 185
§ 29. Simonstown, Kaphalbinsel . . . . . 194
§ 30. St. Helena . . . . . 199
§ 31. Ponta Delgada auf São Miguel (Azoren) . . . . . 202

Abschnitt V. Zusammenfassung der Ergebnisse.

§ 32. Zusammenstellung der H-Werte des Reisetheodoliten . . . . . 205
§ 33. Genauigkeit dieser H-Werte . . . . . 206
§ 34. Die Konstanten vor und nach der Reise. Konstanz der magnetischen Verteilung unserer Magnete während der Reise. . . . . 207
§ 35. Gang der magnetischen Momente während der Reise . . . . . 209

**Drittes Kapitel. Der Einfluß des Schiffseisens.**

I. Abschnitt. Deviationslehre.

Literatur . . . . . 211
§ 36. Grundbegriffe und Grundformeln . . . . . 212

Seite
§ 37. Die drei Hauptformeln streng . . . . . 214
§ 38. Die drei Hauptformeln in 1. und 2. Annäherung . . . . . 215
§ 39. Ableitung der H-Koeffizienten bis zu den Gliedern 2. Ordnung ohne $\delta$ allein aus H-Beobachtungen . . . . . 217
§ 40. Über die physikalische Natur der Deviationskoeffizienten . . . . . 217
§ 41. Charakterisierung der Deviationskoeffizienten nach ihrer praktischen Bedeutung . . 219
§ 42. Zur Ermittlung der Koeffizienten aus Beobachtung und Rechnung . . . . . 221
§ 43. Zusammenstellung der Deviationsformeln für alle Elemente . . . . . 221
§ 44. Einfluß der Schiffsneigung. Ermittlung aller 12 Schiffskonstanten an einem Ort . 222

II. Abschnitt. Die Beobachtungen auf den einzelnen Deviationstationen.

§ 45. Kiel, 6. August 1901 . . . . . 224
§ 46. São Vicente (Kapverdische Inseln) . . . . . 227
§ 47. Die beiden Äquatorstationen auf hoher See . . . . . 230
§ 48. Die beiden Wendepunktstationen auf hoher See . . . . . 232
§ 49. Kapstadt . . . . . 235
§ 50. Kerguelen . . . . . 238
§ 51. Im Packeis . . . . . 240
§ 52. Durban (Natal) . . . . . 243
§ 53. Simonstown (Kaphalbinsel) . . . . . 243
§ 54. St. Helena . . . . . 246
§ 55. São Miguel (Azoren) . . . . . 249
§ 56. Kiel 1903 . . . . . 252

III. Abschnitt. Zusammenstellung und Untersuchung der Ergebnisse.

§ 57. Die konstanten Koeffizienten und ihre Genauigkeit . . . . . 253
§ 58. Die mit dem Ort veränderlichen Koeffizienten und ihre Genauigkeit . . . . . 256
§ 59. Die Korrektionsformeln und die Anlage des Korrektionsgeschäfts . . . . . 258
§ 60. Untersuchung der Genauigkeit unserer Korrektionen wegen der Schiffseisens . . . 263
§ 61. Ort und Wirkungsgrad der schädlichen Eisenmassen an Bord des „Gauss“ . . . 264
§ 62. Über den Einfluß der Schiffsneigung auf unsre Deviationen . . . . . 266
§ 63. Vergleich unserer Schiffskonstanten und ihrer Genauigkeit mit denjenigen früherer Expeditionen . . . . . 267
§ 64. Erfahrungen mit den Beobachtungen der Schwingungsdauer auf hoher See . . . 270

**Viertes Kapitel. Einleitung in die Theorie und Praxis der Beobachtung eines frei schwingenden Körpers auf schwankendem Schiff.**

I. Abschnitt. Die Bewegungen des Schiffes und die dadurch verursachten besonderen Schwierigkeiten der Bordbeobachtungen.

§ 65. Die Bewegungen des Schiffes und des Beobachtungsplatzes an Bord; Beispiele vom „Gauss“ . . . . . 273

Seite
§ 66. Der frei schwingende Körper und seine Bestimmungsstücke . . . . . 276
§ 67. Vorläufiges über den störenden Einfluß der Schiffsbewegungen, Beispiele . . . 276

II. Abschnitt. Die Differentialgleichung der schwingenden Magnetnadel auf schwankendem Schiff und ihre Lösung nach Dr. Balthasar Hartmann.

§ 68. Die lebendige Kraft . . . . . 279
§ 69. Die Kräfte auf die freien Koordinaten . . . . . 282
§ 70. Die Differentialgleichung und der Plan ihrer Lösung . . . . . 284
§ 71. Lösung der Differentialgleichung für $\varphi_s$ . . . . . 287
§ 72. Lösung der Differentialgleichung für $\varphi_n$ . . . . . 289
§ 73. Lösung der Differentialgleichung der schwingenden Magnetnadel auf schwankendem Schiff bis zu den Gliedern 3. Ordnung. . . . . 291

III. Abschnitt. Die zufälligen und konstanten Störungen infolge der Schiffsschwankungen. Die dynamische Deviation und ihre Bestätigung durch die Erfahrung.

§ 74. Zufällige und konstante Störungen der Nadelschwingungen an Bord . . . . . 292
§ 75. Der mittlere Verlauf der Nadelschwingungen an Bord und seine charakteristischen Unterschiede gegenüber dem normalen Verlauf an Land . . . . . 293
§ 76. Allgemeine Eigenschaften der dynamischen Deviation . . . . . 296
§ 77. Die dynamische Deviation von Kompaß und Horizontalnadel an Bord des „Gauss“ . . 298
§ 78. Fehler des horizontalen Ablenkungswinkels von D. M. infolge der dynamischen Deviation . . . . . 300
§ 79. Die dynamische Deviation des Lloyd-Creak-Apparates . . . . . 301
§ 80. Bestätigung der dynamischen Deviation des Lloyd-Creak-Apparates durch die Erfahrung . . . . . 304

IV. Abschnitt. Überblick über die charakteristischen Schwierigkeiten der Bordbeobachtungen und die Methoden zu ihrer Überwindung.

§ 81. Überblick über die charakteristischen Schwierigkeiten der Bordbeobachtungen . . 305
§ 82. Überwindung der Schiffsdrehungen . . . . . 306
§ 83. Überwindung der von den Schiffsschwankungen herrührenden zufälligen Störungen durch das Beobachtungsverfahren . . . . . 307
§ 84. Überwindung der von den Schiffsschwankungen herrührenden konstanten Störungen, der dynamischen Deviation, durch instrumentelle Anordnungen . . . . . 308

Verbesserungen und Bemerkungen . . . . . 310

# Zur Einführung.

**Stand der Dinge bei Übernahme der Aufgabe. Ziel und Vorbilder.**

Als mir die hohe Aufgabe anvertraut wurde, auf der wissenschaftlichen Forschungsreise des „Gauss“ unsere Kenntnisse vom magnetischen Zustand der Erde zu erweitern, schwebte mir vom ersten Augenblick an als Ziel des Beobachters vor, nicht bloß Beobachtungen zu sammeln, sondern vor allen Dingen vollkommene Klarheit über ihre Zuverlässigkeit zu erlangen. Unter Führung Gaussscher Ideen hatte sich das 19. Jahrhundert hauptsächlich aus den Ergebnissen großer Expeditionen, wie derer von „Erebus“ und „Terror“, der „Gazelle“, des „Challenger“ einen allgemeinen Überblick über den magnetischen Zustand der Erde gebildet. Nunmehr beruhte der Fortschritt auf der Klärung der Frage, bis zu welcher Stelle wir es bei den erdmagnetischen Werten mit Realitäten zu tun haben, welcherlei Fehlerquellen insbesondere die Beobachtungen vom größten Teil der Erdoberfläche, vom Weltmeer, ausgesetzt sind, und bis zu welchen Beträgen diese Fehler das Resultat entstellen. In Ermangelung solcher Grundlagen haben fundamentale Fragen wie diejenige nach der Existenz eines erdmagnetischen Potentials bis heute noch nicht einwandfrei beantwortet werden können.

Während es bei Landbeobachtungen verhältnismäßig leicht ist, sich ein Urteil über ihre Zuverlässigkeit zu verschaffen, fehlte bei den Seebeobachtungen bis zum Jahre 1900 die Möglichkeit hierzu so gut wie ganz. Im letzten Grund war daran ein gewisser Mangel in der Organisation schuld: diejenigen, welche auf dem Weltmeer beobachtet hatten, standen von Haus aus wissenschaftlichen Fragen und Aufgaben fern: es waren in der Regel Offiziere, die nach Instruktion handelten und die unter den besonderen Schwierigkeiten der Bordverhältnisse mit bewundernswertem Pflichteifer ihre Beobachtungen ausführten; andererseits hatten diejenigen, welche vorher die Instruktion erteilten und nachher die heimgebrachten Zahlen verarbeiteten, keinen hinreichenden Einblick in die besonderen Verhältnisse und Schwierigkeiten, unter welchen dieselben gesammelt worden waren. Als ich daher die instrumentellen Vorbereitungen für die Reise zu treffen hatte, und noch mehr, als ich draußen auf dem Atlantischen Ozean an den Instrumenten auf der Brücke des „Gauss“ stand, und allerlei Fragen und Schwierigkeiten auf mich einstürmten, stand ich so gut wie vollständig ohne Rat und Vorbild da. Von den Schwierigkeiten des Schiffseisens abgesehen, war in den Berichten der bisherigen Expeditionen von solchen Fragen und Schwierigkeiten nichts zu finden. Welcher Art dieselben waren, und wie

ich es versuchte, ihrer Herr zu werden, darüber sollen diese „Grundlagen“ zunächst allgemeine Rechenschaft ablegen.

**Instrumentelle Grundlagen.**

Zur Bestimmung der Inklination und Intensität auf See war bis zum Jahre 1900 nur ein einziges Instrument benutzt worden, der „Fox-Apparat“, der 60 Jahre zuvor für die berühmten Expeditionen von J. Cl. Ross konstruiert worden war. Als Hauptmangel hatte sich die rohe Lagerung der Nadeln herausgestellt, welche die Haltbarkeit der Nadelachsen und damit die Sicherheit der Einstellungen bald stark beeinträchtigte. So schuf Kapitän Creak von der britischen Admiralität ums Jahr 1900 für die englische Südpolar-Expedition auf der „Discovery“ ein neues Instrument, den „Lloyd-Creak-Apparat“ (L. C.), bei welchem er die Lagerung der Nadeln verbesserte und zugleich ein eleganteres Ablenkungsverfahren nach der Lloydschen Methode einführte: dabei sollte durch einen Ablenkungsversuch der Quotient, durch einen Belastungsversuch das Produkt von Nadelmoment und Intensität und durch die Kombination beider Versuche die von dem unsicheren Moment befreite Intensität bestimmt werden. Außer dem Fox-Apparat existierte zwar noch ein deutsches Instrument, das „Deviationsmagnetometer“ (D. M.), von Bamberg-Friedenau um 1870 nach den Angaben von Georg Neumayer konstruiert; dasselbe war jedoch, wie es scheint, niemals auf hoher See gebraucht worden. So zog ich mit 2 unerprobten Instrumenten, dem Lloyd-Creak-Apparat und dem Deviationsmagnometer, auf See hinaus. Konstruktion und Ausstattung des Schlingertisches hatte ich ungefähr nach dem Vorbild des „Challenger“ gewählt und so denselben leider nicht mit einer Kompaßeinrichtung versehen, so daß an dem Hauptort der magnetischen Beobachtungen an Bord zunächst nicht einmal Deklination bestimmt werden konnte, ein Mangel, dem ich im Laufe der Reise durch improvisierte Einrichtungen und durch mühevolles Beobachtungsverfahren abzuhelfen gesucht habe.

Da unsere Schiffsinstrumente nur relative Intensitätsbestimmungen erlauben, bedurften sie der fortwährenden Kontrolle während der Reise. Diese erfolgte an jedem Landungsort mit genügendem Aufenthalt mit Hülfe des magnetischen Reisetheodoliten, der ebenfalls ganz neu konstruiert worden war und erst im Augenblick der Abreise eintraf. Derselbe hat sich im allgemeinen sehr gut bewährt, und wie trefflich er die Strapazen der Expedition überstanden hat, mögen die 4 Zahlen auf Seite 207 unten zeigen.

In der Instrumentenbeschreibung des ersten Kapitels habe ich die objektive Darstellung durch meine subjektiven Erfahrungen ergänzt und in Erinnerung an manche mühevolle Stunde wohl mehr hervorgehoben, was sich nicht bewährt hat. Es geschah dies in Erinnerung daran, wie sehr ich mich selber seinerzeit bei der Ausrüstung der Expedition nach derartigen Berichten gesehnt hatte, und mit dem Wunsch, künftigen Beobachtern in ähnlicher Lage damit einen Dienst zu erweisen. Das zweite Kapitel gibt über die Messungen mit dem Reisetheodoliten und deren Zuverlässigkeit Rechenschaft, damit also über die Grundlagen aller Intensitätsmessungen unserer Expedition. Wenn ich bei einem so bekannten Gegenstand eine Theorie der Beobachtungen vorausgeschickt habe, so geschah es, um den Leser in die gebrauchten Methoden und Bezeichnungen einzuführen, ohne auf andere Literatur verweisen zu müssen, vor allem auch, um in die Darstellung allbekannter Dinge manche Gedanken einfließen zu lassen, die sich mir im Laufe der Arbeit aufgedrängt haben.

### Die Schiffsschwankungen und ihre äußeren Schwierigkeiten.

Welch ein Kontrast: von den behaglichen Verhältnissen des Potsdamer Observatoriums, wo ich die allergenauesten Beobachtungsmethoden kennen gelernt hatte, hinaus in Wind und Wetter an den ewig schwankenden Schlingertisch auf der Brücke des „Gauss"! Wie sollte man überhaupt bei den fortwährenden Kursschwankungen des Segelschiffes irgendeine länger dauernde, zusammenhängende Beobachtungsreihe z. B. zur Messung eines horizontalen Ablenkungswinkels, einer Inklination usw. exakt ausführen? — Diese Schwierigkeit war noch am leichtesten zu überwinden: man brauchte nur zu den Ablesungen am Instrument den gleichzeitigen Stand des Kompasses zu notieren, um nachher durch Rechnung die Ablesungen auf einen konstanten Kurs reduzieren zu können; immerhin wurde auf diese Weise eine wesentliche Vermehrung von Beobachtung und Rechnung notwendig.

Verhängnisvoller sind die ewigen Schwankungen von Schiff und Nadel: wir haben es nicht mehr mit der Statik der Magnetnadel zu tun, wie an Land, wo die Nadel „sich einstellt", sondern mit einer ganz komplizierten Dynamik derselben. Schwankt schon die Inklinationsnadel, deren Schwerpunkt so sorgfältig als möglich in die Drehachse verlegt ist, innerhalb 10 Graden hin und her, so steigert sich der Schwingungsbereich bei Nadeln, deren Schwerpunkt notwendig oder absichtlich exzentrisch angeordnet ist, wie bei der Horizontalnadel D. M. oder der belasteten Inklinationsnadel L. C., auf das Zwei-, Fünf-, ja sogar Zehnfache jenes Betrags.

Es entsteht daher zunächst die äußere Schwierigkeit, die Mittellage eines wirren Schwingungszustandes bis auf wenige Zehntelgrade anzugeben. Man bewältigt sie durch geeignete Beobachtungsmethoden: durch das Schätzungsverfahren bei raschen und gedämpften Schwingungen, durch die exaktere „Methode der Umkehrpunkte" bei langsamen, schwach gedämpften Schwingungen, denen ich absichtlich eine große Amplitude erteilt habe. Auf alle Fälle aber ist zur Überwindung solcher zufälliger Störungen, die gleichzeitig nach dem Rythmus von Nadel, Schiff und Wellen sich abspielen und fortwährend Sinn und Stärke wechseln, ein umfangreiches Beobachtungsmaterial nötig, um die Mittellage der Nadel mit Sicherheit angeben zu können; es entspricht das genau dem allgemein üblichen Verfahren der Beobachtungskunst, durch Vermehrung der Einzelbeobachtungen die zufälligen Fehler einer Messung unschädlich zu machen.

### Umfang unsres Beobachtungsmaterials.

So erklärt es sich, daß ich nicht weniger als 225490 Beobachtungszahlen in den 14 Monaten der Reisezeit, über welche dieser Band V berichtet, gesammelt habe; Herr Dr. Bunzl hatte die Güte, meine Beobachtungsbücher durchzuzählen und die obige Zahl festzustellen. Das gibt für jeden Tag durchschnittlich 537 Einzelbeobachtungen allein für erdmagnetische Zwecke.

Während der Zeit unsrer Winterstation in der Antarktis konnte auf festgefrorenem Meer, 90 Kilometer ab von der nächsten Küste, ein magnetisches Observatorium mit photographischer Registrierung der erdmagnetischen Variationen 10 Monate lang in vollem Betrieb erhalten werden; über die Ergebnisse desselben berichtet der folgende Band VI.

### Die inneren Schwierigkeiten der Schiffsschwankungen.

Während sich die äußeren Schwierigkeiten der Schiffsschwankungen durch den Umfang der Beobachtungen fast bis zu einem beliebigen Grad überwinden lassen, so treten uns auf dem schwankenden Schiff noch tiefer liegende, prinzipielle Schwierigkeiten entgegen, deren Vorhandensein bisher überhaupt nicht erkannt war, und deren Überwindung Aufgabe des künftigen Instrumentenbaues ist. Bei allen freischwingenden Körpern, deren Schwerpunkt nicht in die Drehachse fällt, ist nämlich ihre Mittellage an Bord im allgemeinen verschieden von der idealen Ruhelage, die sich bei fester Unterlage einstellen würde. Diese Wahrnehmung drängt sich auf See bei den Beobachtungen mit der Horizontalnadel D. M. und der belasteten Nadel L. C. ganz von selbst auf; vergleiche meinen Reisebericht vom Jahre 1903, in den „Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde“ Heft V, Seite 101, Berlin 1903, Mittler u. Sohn. Auf Grund der Hartmannschen Lösung der Differentialgleichung der schwingenden Magnetnadel auf schwankendem Schiff habe ich dann im vierten Kapitel in präziser Weise den Begriff und die Eigenschaften „der dynamischen Deviation“ entwickelt. Daselbst sind auch die numerischen Beträge ermittelt, bis zu welchen die Beobachtungen mit exzentrisch belasteten Nadeln durch die dynamische Deviation gefährdet sind; es stellt sich insbesondere heraus, daß die höchst erwünschte Lösung der Aufgabe, die Intensitätswerte von See frei von dem unsicheren magnetischen Moment zu liefern, dem Lloyd-Creak-Apparat nicht geglückt ist, daß vielmehr die Messungen mit der belasteten Nadel von L. C. in der Regel, in vielen Fällen auch diejenigen mit der Horizontalnadel von D. M. in Zukunft zu verwerfen sind.

### Das Schiffseisen und seine Überwindung.

Es ist in hohem Maße bedauerlich, daß der Mensch gerade in diejenigen Gebiete, wo sich die erdmagnetische Kraft am ungestörtesten entfaltet, selber durch sein eisenhaltiges Fahrzeug verhängnisvolle Störungen hineinträgt. Wie das dritte Kapitel zeigt, ist ein gewaltiger Aufwand von Beobachtung und Rechnung erforderlich gewesen, um derselben einigermaßen Herr zu werden. Durch Verwendung der verschiedensten Instrumente und Methoden, die im Lauf der Reise durchprobiert und vielfach gleichzeitig nebeneinander angewandt worden sind, versuchte ich in die Zuverlässigkeit und Beständigkeit der Koeffizienten des Schiffseisens klaren Einblick zu bekommen; und trotz aller Mühe ist die Unsicherheit, welche unseren Seebeobachtungen wegen unvollkommener Elimination des Schiffseinflusses noch anhaftet, in vielen Fällen größer, als die Unsicherheit der Beobachtung, welche aus den Schwierigkeiten der Schiffsschwankungen folgt.

Eine Untersuchung der Ergebnisse früherer Expeditionen zeigt, daß dieselben noch viel mehr durch das Schiffseisen beeinträchtigt sind, als die unsrigen, und daß infolgedessen bis 1900 auf den magnetischen Karten lediglich wegen des unbeständigen Verhaltens und der unsicheren Kenntnis des Schiffseisens die Horizontalkomponenten der erdmagnetischen Kraft auf See fast auf ein halbes, die Vertikalkomponenten fast auf ein ganzes Prozent unsicher angegeben sind; diese Unsicherheit wird durch verschiedene andere Gründe noch erheblich vergrößert, wie wir in den folgenden Teilen dieses Bandes sehen werden.

In der dem dritten Kapitel vorangestellten Deviationslehre habe ich versucht, die verschiedenen, in der bisherigen Literatur vorhandenen Ansätze zu einem alle Elemente gleichmäßig behandelnden, einfachen System auszubauen und sowohl die innere Bedeutung, als auch die praktische Wichtigkeit der einzelnen Koeffizienten darzustellen. Wie vieles hätte ich auf der Expedition anders und besser gemacht, wenn ich z. B. etwas von „Mittelwert- und Drehungskoeffizienten" gewußt hätte, deren Begriffe in § 41 entwickelt sind!

**Die Verarbeitung des Materials.**

Auf der Expedition, wo jeder Tag einen neuen Ort und neue Verhältnisse brachte, hatte es gegolten, rastlos zu sammeln und eine immer vollkommenere Überwindung der Schwierigkeiten anzustreben. Nach unserer Heimkehr lagen jene 225490 Beobachtungszahlen vor uns wie ein riesengroßer, unübersichtlicher Berg. Durch die mannigfachen Versuche hatte sich ein Material mit mannigfachen Unstimmigkeiten angehäuft; diese galt es nun zu durchdringen und aufzuklären, um aus solchen Untersuchungen einen Einblick in die Eigenart der Bordverhältnisse, der Instrumente und Methoden, in die Sicherheit der Resultate zu gewinnen. Wenn es gelungen ist, dieses Ziel bis zu einem gewissen Grad zu erreichen, so ist das vor allem der treuen Hingabe meiner Mitarbeiter zu danken, welche in mühsamer, vielfach öder Rechenarbeit jene Hunderttausende von Zahlen nach den verschiedensten Gesichtspunkten durchgearbeitet haben; es waren die Herren Kreuter, Dr. Dinter, Dr. Hartmann und Dr. Bunzl, für kürzere Zeit die Damen Frl. Dr. Wiszwianski und Frl. Jungandreas. Ihnen gebührt mein herzlicher Dank; besondere Förderung verdankt dieser Band Herrn Dr. Hartmann, der in selbständiger Weise Probleme gesucht und bearbeitet hat.

Viele Jahre hat dieses Material mich innerlich beschäftigt und festgehalten, und oft habe ich es schmerzlich empfunden, daß man über der Arbeit des Kärrners, der nur Beobachtungen herbeiträgt als Bausteine zu einem großen Bau, zum Bauen selber nicht kommt und darauf verzichten muß, weiterzuschreiten und einzudringen in das Ganze, in den lebendigen Organismus unseres Erdballs. Viele Jahre hat dieses Material auch meinen äußeren Lebensgang festgelegt und am Vorwärtsschreiten gehindert. Und doch halte ich mit tiefer Dankbarkeit an diesen Jahren fest und empfinde, welcher Schatz sie für mein Leben sind.

* * *

Ehrerbietigen Dank erlaube ich mir an dieser Stelle dem Reichsamt des Innern auszusprechen, dessen Wohlwollen und stets gleichbleibendes Vertrauen unsre Expedition jederzeit gefördert, insbesondere auch eine sorgfältige Verarbeitung ihrer Ergebnisse ermöglicht hat; ebenso dem Kgl. Preußischen Kultusministerium, das meine wissenschaftliche Vorbereitung für die Expedition durch den freien Zutritt, den es mir zu seinen Instituten eröffnete, sehr erleichtert und unterstützt hat. So bin ich namentlich dem Kgl. Preußischen Meteorologischen Institut in Berlin und seinem Observatorium in Potsdam aufrichtigen, lebhaften Dank schuldig, wo ich vor der Expedition so warme Aufnahme und aufopferungsvolle Hilfe gefunden habe. Ebenso habe ich dem Kaiserlichen Marine-Observatorium in Wilhelmshaven zu danken, das mir mehrfach in freundlichster Weise Rat und Hilfe erteilt hat.

Herzlichen Dank sage ich meinen Kameraden vom „Gauss“, den Herren Offizieren Lerche, Vahsel und Ott, welche früh und spät, bei gutem und schlechtem Wetter mit mir auf der Brücke gestanden sind, sie am Kompaß, ich am Instrument auf dem Schlingertisch, und sich unermüdlich an der Sammlung und Registrierung des erdmagnetischen Beobachtungsmaterials von See beteiligt haben. Endlich ist es mir noch ein Herzensbedürfnis, dankbar des Mannes und seiner Organisation zu gedenken, dem wir im letzten Grund alle Ergebnisse der Deutschen Südpolar-Expedition verdanken: Erich von Drygalski hat an jeden Platz seinen Mann gestellt mit der vollen Freiheit, aber eben darum auch mit der vollen Gebundenheit der eigenen Verantwortung. In jedem einzelnen Arbeitsgebiet hatte ein und derselbe Mann seine Arbeiten und Beobachtungen vor der Expedition vorzubereiten, während der Expedition auszuführen und nach der Expedition zu verarbeiten, frei aus dem Drang des Augenblicks heraus dem eigenen Entschluß folgend, nicht gebunden durch die Instruktion ferner Kommissionen. Auf diese Weise mußte überall die Sache und der Mann gewinnen, so konnte bei einheitlicher Leitung etwas Ganzes werden, und dieses Ganze verdanken wir Erich von Drygalski.

Berlin, Pfingsten 1909.

**Friedrich Bidlingmaier.**

# Erstes Kapitel.

# Beschreibung der instrumentellen Hilfsmittel und der damit gemachten Erfahrungen.

## § 1. Der magnetische Reisetheodolit.

(Tafel I.)

### Geschichte des Instruments.

Die Entstehung des Reisetheodoliten fällt in die Vorbereitungszeit zweier gleichzeitiger Unternehmungen, der Deutschen Südpolar-Expedition und der magnetischen Landesvermessung von Württemberg und Hohenzollern. Von beiden Unternehmungen um seinen sachkundigen Rat angegangen, schuf Professor Eschenhagen, Vorstand des Magnetischen Observatoriums zu Potsdam, um das Jahr 1900 in Gemeinschaft mit dem Mechaniker Tesdorpf-Stuttgart den im folgenden beschriebenen Magnettheodoliten, in welchem Eschenhagen seine reichen Erfahrungen niedergelegt hat. Leider haben beide Männer den ganzen Erfolg ihres Werks nicht mehr erleben dürfen.

Unter den Händen von Professor Haussmann-Aachen sind die ersten Leistungen des Instruments entstanden; siehe Karl Haussmann „Die erdmagnetischen Elemente von Württemberg und Hohenzollern", herausgegeben vom K. Statistischen Landesamt Stuttgart 1903, und von demselben: „Magnetische Messungen im Ries und dessen Umgebung", Abhandlungen der K. Preußischen Akademie der Wissenschaften Berlin 1904. Professor Haussmann hat außerdem die erste Beschreibung des Instruments geliefert: „Der Magnettheodolit von Eschenhagen-Tesdorpf", Zeitschrift für Instrumentenkunde 1906. Während es dort Professor Haussmann darauf ankam, die Beschreibung des Instruments mit der Beschreibung der Beobachtungsmethode zu verbinden, habe ich mich hier auf die systematische Beschreibung des Instruments und seiner einzelnen Teile beschränkt, indem ich mich dabei bemühte, für künftige Beobachter hervorzuheben, was ich als bewährt und als nichtbewährt gefunden habe; die Methode ist eingehend im 2. Kapitel behandelt.

Eine weitgehende Verwendung hat das Instrument außerdem in den großen nordamerikanischen Unternehmungen unter der Leitung von L. A. Bauer gefunden.

Der magnetische Reisetheodolit besteht aus dem eigentlichen Theodoliten, den Aufsatz- und Ansatzteilen für magnetische Messungen und dem Zubehör.

**A. Der eigentliche Theodolit**

des Expeditionsinstruments Nr. 1975 war fast ganz aus Magnalium angefertigt, wodurch das Gewicht des Apparates sehr wesentlich erleichtert wurde, ohne daß sich Nachteile aus der Wahl dieses Materials ergeben hätten. Aus Messing waren alle Schrauben und Federn, sowie die Fassungen des Fernrohres, der Mikroskope und der Libellen.

Der Unterbau steht mit den abgerundeten Enden der Fußschrauben in entsprechenden Vertiefungen der Grundplatte G (Fig. 2)[1]. Dieselbe ist auf der Ebene des Stativkopfes mit einem gewissen Spielraum beweglich und kann durch das Anziehen einer Schraube fest mit dem sehr stabilen Stativ verbunden werden. Auf dieser Grundplatte wird das Instrument selbst durch die Federkraft einer Messingscheibe festgehalten, die mittels geeigneter Einschnitte über die halbkugelförmigen Enden der Fußschrauben unter Ausübung eines Drucks hinweggeschoben werden kann. Die Dosenlibelle D dient beim Aufstellen des Instruments zur vorläufigen, rohen Nivellierung.

Der Limbus enthält einen Teilkreis von 12 cm Durchmesser mit Metallverdeck, unterhalb der Mikroskope mit Glasverschluß. Der Kreis ist in $^1/_3$ Grad, dieses Intervall selbst durch die Skala eines (15fach vergrößernden) Schätzmikroskops noch in 10 Teile geteilt, so daß man die Doppelminute ablesen und $^1/_{10}$ Doppelminute noch streng schätzen kann; die Summe beider Mikroskopablesungen gibt direkt die gesuchte Minutenzahl. Die Teilung zeigte keinen für die vorliegenden Zwecke in Betracht kommenden Fehler; nur waren ihre Striche zu grob und in ihrer Dicke den Teilstrichen der Mikroskopskala gar nicht gleichwertig, wodurch das Schätzen der Zehntel in der Nähe der vollen Doppelminute erschwert wird.

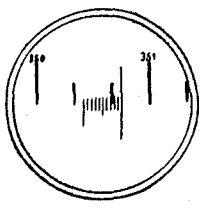


Abbildung 1. **Bild in den Schätzmikroskopen.**

Die Alhidade trägt eine zentrale runde Platte mit 2 vertikalen Führungsstiften und zugehörigen Vorreibern zur Aufnahme der Aufsatzteile für magnetische Messungen. Am Rande derselben stehen die beiden diametralen Träger mit den Ablesemikroskopen, außerdem noch 2 weitere Paare diametraler Lagerböcke. Das erste derselben dient einerseits als Lager für das Fernrohr, andererseits als Lager für den Sonnenspiegel; das zweite Paar dient beiderseits zur Aufnahme der Ablenkungsschienen.

Das Fernrohr ist, um die Mitte des Theodoliten für die Aufsatzteile frei zu halten, exzentrisch angebracht; ein Gegengewicht hebt die einseitige Belastung auf. Auf den Enden der Kippachse kann die Reiterlibelle R aufgesetzt werden, durch welche auch das ganze Instrument nivelliert wird. Das Fernrohr dient 1. zur Einstellung auf den Spiegel eines horizontal frei schwingenden Magneten bei den Deklinations- und Intensitätsmessungen, 2. zur Einstellung auf ein entferntes Objekt mit bekanntem Azimut, ein Gestirn oder eine Mire, bei den Deklinationsmessungen.

Zu ersterem Zweck ist es für Selbsteinstellung eingerichtet: das Fadenkreuz wird auf sein eigenes, am Magnetspiegel reflektiertes Bild eingestellt; deshalb ist ein lichtstarkes Fernrohr mit geringer, ungefähr 10facher Vergrößerung gewählt. Die Beleuchtungseinrichtung des Fadenkreuzes besteht einmal aus dem Beleuchtungsprisma im Innern des Okularauszuges, das die obere Hälfte des Gesichtsfeldes verdeckt und dessen Hypotenusenfläche das von außen

[1]) Mit „Figur" bezeichnen wir die Bilder in den Tafeln, mit „Abbildung" diejenigen im Text.

kommende Licht total reflektierend auf das Fadenkreuz wirft, sodann aus dem Beleuchtungsspiegel S, der außerhalb allseitig drehbar angebracht ist, und der das Licht einer gegebenen Lichtquelle durch einen halbkreisförmigen Ausschnitt zum Beleuchtungsprisma hinableitet. Für das Arbeiten im Feld bei Regen, Schnee- oder Sandtreiben muß der halbkreisförmige Ausschnitt durch ein Fenster geschlossen sein, um das schwer zugängliche Beleuchtungsprisma vor Verunreinigung zu schützen. Der Ausschnitt war ursprünglich offen; nach den Erfahrungen einer verregneten Feldbeobachtung auf Kerguelen verschlossen wir denselben nach dem Rat meines Kameraden LUYKEN durch ein dünnes Glimmerblättchen, was sich in der Folge sehr gut bewährte. Nebenstehende Figur gibt das Bild des Fadenkreuzes im Gesichtsfeld wieder.

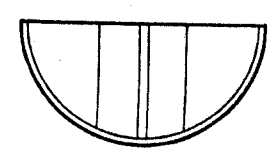


Abb. 2. **Fadenanordnung im Gesichtsfeld des Fernrohrs.** Winkel der beiden äußeren Fäden ca. 50'. Winkel der beiden Mittelfäden ca. 2'.

Schädlich und sehr störend ist der Umstand, daß man beim Übergang von der Einstellung auf ein unendlich fernes Objekt zur Einstellung auf den Magnetspiegel den Okularauszug verstellen muß, was von einer Krümmung des Magnetspiegels herrührt. Dieser Mißstand scheint sich bei allen bisherigen Theodoliten dieser Art gezeigt zu haben, ein Beweis, wie schwer es ist, einen tadellos ebenen Spiegel zu erhalten.

### B. Die Aufsatz- und Ansatzteile

machen den Theodoliten zu einem „Magnettheodoliten". Sie bestehen

1. aus einem Deklinatorium mit Fadenaufhängung oder mit Spitzenauflagerung,
2. aus 2 Ablenkungsschienen oder Deflektoren mit Schutzrohren,
3. aus dem Schwingungskasten,
4. evtl. einem Inklinatorium.

Bei dem Deklinatorium mit Fadenaufhängung (Fig. 3a) bildet der kurze horizontale Zylinder „M. G." das Magnetgehäuse. An den Enden ist dasselbe durch Fenster abgeschlossen; es ist darauf zu achten, daß bei dem Fenster am Fernrohr gut planparalleles Glas verwendet ist. Im Innern (Fig. 3b) ist das Gehäuse stark mit Kupfer ausgefüttert, und dessen Ausbohrung für den Magneten ist so knapp bemessen, daß der freischwebende Magnet nach oben und unten sich nur um den Bruchteil eines Millimeters verstellen läßt und seitwärts nur mit kleiner Amplitude frei schwingen kann. Dadurch ist eine vorzügliche Dämpfung des Magneten, somit eine große Zeitersparnis bei der Messung erzielt worden. Unvollkommen ist das Gehäuse noch insofern, als zum Ein- u. Umlegen des Magneten die beiden Endstücke von M. G. abgeschraubt werden müssen, wozu auch das ganze Deklinatorium von Theodolit abzunehmen ist. Man kann es zwar durch eine leichte Änderung auch erreichen, daß zum Umlegen die Öffnung nur einer Seite genügt; aber nach den Beobachtungen von Dr. LUYKEN entsteht durch das einseitige Anfassen an einem Polende eine merkliche Störung im Zustand des Magneten und damit auch in der Messung. Die Aufhängeeinrichtung (Fig. 3a) besteht aus der Suspensionsröhre mit der Arretiervorrichtung A, dem Torsionskopf K und dem Magnetgehänge (Fig. 3c). Die freie Fadenlänge beträgt ungefähr 25 cm. Das Magnetgehänge faßt mit einem Doppelhaken den kreuzförmigen Aufhängestift des Magneten; durch 2 Backen der Arretiervorrichtung kann das Gehänge festgestellt, dadurch der Faden auch in unbelastetem Zustand normal gespannt und

torsionsfrei festgehalten werden. Der Torsionskopf, mit einer groben Einteilung von 30 zu 30 Grad, hat eine Schraube mit fester Längsführung zum Heben und Senken des Gehänges. Vorzüglich ist die Befestigungsweise der Fadenenden am Torsionskopf und am Magnetgehänge: das Fadenende liegt in der Axe eines in 2 gleiche Hälften aufgeschlitzten Konus, dessen Mantel durch eine Überfangschraube mit feiner Durchlaßöffnung für den Faden zusammengepreßt wird. Wir übergehen die Beschreibung des Deklinatoriums mit Spitzenauflagerung, da es während der Expedition nur sehr wenig zur Verwendung kam, und verweisen hierfür auf die eingehende Beschreibung von Professor HAUSSMANN in der Zeitschrift für Instrumentenkunde XXVI. Jahrgang 1906 pag. 5—8.

Der im Deklinatorium frei hängende Magnet wird nicht nur zur Bestimmung der Deklination, sondern auch durch Ablenkung zur Bestimmung der Horizontalintensität benutzt. Zu dem Zweck werden am Theodoliten beiderseits die Ablenkungsschienen angesetzt (Fig. 2 u. 4), welche zur Aufnahme des ablenkenden Magneten dienen. Die Achsen des ablenkenden und abgelenkten Magneten sollen in derselben Horizontalen liegen und bei der Einstellung senkrecht aufeinander stehen. Demgemäß sind die röhrenförmigen Ablenkungsschienen so montiert, daß die Röhrenachse in derselben Horizontalebene mit der Zielachse des Fernrohrs liegt und senkrecht auf ihr steht.

Sehr wichtig ist es, daß das Ansetzen der Schienen an den Theodoliten so erfolgt, daß dabei eine Konstanz der Entfernung aller ihrer Teile von der Mitte des Theodoliten gewährleistet ist. Dies ist beim TESDORPFschen Theodoliten gut erreicht: das 13 mm lange, zylindrische Ende der Schienen wird in den zugehörigen Träger mit etwas Reibung eingeschoben, bis sich die Endfläche des Trägers und die Anschlagfläche der Schiene, die beide gut aufeinander abgepaßt sind, berühren; ein Anschlagstift sichert außerdem noch die stets gleiche Stellung der Schiene. Dann wird die Schiene noch durch die übergreifende Mutterschraube M (Fig. 2), die leicht angezogen wird, an den Träger festgepreßt.

In den zur Aufnahme des ablenkenden Magneten bestimmten Teilen der Schiene ist die obere Hälfte der Röhre weggeschnitten, die untere mit geeigneten Schlitzen versehen, in welchen der nach unten gekehrte, zweite Aufhängestift des ablenkenden Magneten gleitet, so daß die Wahl der Entfernung des Magneten möglichst wenig beschränkt ist. Dadurch ist aber die Ablenkungsschiene trotz des stehengebliebenen, geschlossenen Ringes Rg (Fig. 2) bedeutend geschwächt worden, so daß sich eine bemerkbare Durchbiegung zeigt, wenn der Magnet an ihrem Ende aufgesetzt wird. Diese Durchbiegung ist jedoch nur schädlich, wenn der Theodolit zu streng absoluten Messungen verwandt werden soll.

Ist die Schiene mit allen ihren Teilen in konstanter Entfernung von der Theodolitmitte, so besteht nun ihre Hauptaufgabe darin, auch für den Ablenkungsmagneten eine solche Konstanz zu sichern. Zu dem Zweck werden feste Anschläge A A (Fig. 4) für die Endflächen des Röhrenmagneten geschaffen: ein kurzer, 1 cm langer Hohlzylinder aus dem Metall der Schiene, dessen obere Hälfte weggeschnitten ist und dessen äußerer Durchmesser dem inneren der Schiene gleichkommt, wird in geeigneter Weise durch eine Schraube von unten her fest an die Innenwand der Schiene angepreßt. Dies geschieht ein für allemal auf der Basisstation, nachdem man sich für eine bestimmte Entfernung entschieden hat. Eine Endfläche des Anschlags ist ganz

besonders sorgfältig abgeschliffen, und gegen diese wird, in der Schiene gleitend, der Magnet mit einer seiner Endflächen bis zum Anschlag herangeschoben (Fig. 2). Die Erfahrung hat gezeigt, daß in dieser eben besprochenen Weise die Konstanz der Entfernung des ablenkenden Magneten von der Mitte des Instruments in ausgezeichneter Weise gesichert ist.

Sehr gut bewährt haben sich auch die Schutzrohre A aus blankem Aluminium (Fig. 2), welche, die Ablenkungsschienen mit Magnet ganz umhüllend, auf die Mutterschrauben M aufgesteckt werden. Sie schützen den Magneten in den Tropen vor der Strahlung der brennend heißen Zeltwand, in den Polargegenden vor der Eigenwärme des Beobachters. Durch 2 kleine Aufklappdeckel machen sie den eingelegten Magneten zugänglich. Will man nur relative Intensitätsmessungen durch Beobachtung der Ablenkung allein anstellen, kann man anstatt der Ablenkungsschienen Deflektoren benutzen, Messingzylinder, in welchen ein Magnet ein für allemal fest eingeschlossen ist, und die in derselben Weise wie die Ablenkungsschienen an die Träger angesetzt und durch Schutzrohre verwahrt werden.

Der Schwingungskasten (Fig. 5) wird an Stelle des Deklinatoriums auf den Theodoliten aufgesetzt, wenn die Schwingungsdauer des ablenkenden Magneten beobachtet werden soll. Er besteht 1. aus einem Holzkästchen mit Bock B, 2. der Ablese- und 3. der Aufhängungseinrichtung. Die beiden Langwände des Holzkästchens sind als aufklappbare Glasfenster ausgebildet, so daß der Magnet bequem eingelegt werden kann; in der einen Stirnwand ist das in der Figur offenstehende Türchen angebracht, welches das Einlegen des Trägheitsstabes in den Magneten erleichtert, an der gegenüberliegenden Stirnwand ist das Fernrohr mit der Ableseeinrichtung eingesetzt; der Deckel endlich trägt die aufgeschraubte Suspensionsröhre. Das Holzkästchen war für den hohen Aufbau, den es zu tragen hat, etwas zu schwach gebaut.

Vorzüglich bewährt sich der Bock B im Innern des Holzgehäuses, der durch den Exzenter E hoch und tief gestellt werden kann. Er erleichtert sehr das Ein- und Umlegen des Magneten, den man dabei nur für kurze Zeit und nur am Aufhängestift anzufassen braucht; insbesondere aber ermöglicht er es in kürzester Frist, den frei schwingenden Magneten zu beruhigen und ihm die gewünschte Schwingungsweite zu erteilen. Hierzu dienen die kleinen Polsterungen aus Fell an den Enden des Bocks. Man muß jedoch sehr darauf achten, daß nicht ein Härchen von dem Fell an dem schwingenden Magneten streift und so die Messung stört.

Die Aufhängevorrichtung G (Fig. 5) ist im Prinzip dieselbe, wie oben beim Deklinatorium beschrieben, nur entsprechend dem größeren Gewicht des Ablenkungsmagneten stärker gebaut. Der einzige wesentliche Unterschied besteht darin, daß der Spiegel, auf dessen Bild eingestellt wird, nicht am Magneten selbst, sondern am Gehänge befestigt ist.

Zur Ableseeinrichtung gehören eine Skala mit Beleuchtungsvorrichtung und das kleine Fernrohr F. Die Skala mit einer beliebigen Teilung ist auf dem Glasplättchen eingeätzt, welches die vor dem Fernrohr angebrachte Öffnung in der Stirnwand des Schwingungskastens verschließt. Auf das an dem Spiegel S (Fig. 5) reflektierte Bild dieser Skala wird das Fernrohr eingestellt; dreht sich mit dem Magneten der Spiegel, so wandert die Skala an dem senkrechten Indexfaden im Gesichtsfeld des Fernrohrs vorüber. Nur sind die Striche der Skala viel zu grob gegenüber dem feinen Strich des festen Fernrohrfadens.

Beleuchtet wird die Skala durch ein in das Fernrohr dicht vor der Skala eingelassenes Glasplättchen, das unter 45° gegen die Fernrohrachse geneigt ist. Durch einen Ausschnitt A in der Fernrohrwandung leitet der Spiegel Sp von irgendeiner äußeren Lichtquelle das Licht hinab zu der geneigten Glasplatte, bzw. zur Skala. Der Arm des Beleuchtungsspiegels ist wohl in Gelenken allseitig drehbar; aber es hat doch stets große Mühe gemacht, durch den engen Ausschnitt in der Fernrohrwand hindurch eine richtige Beleuchtung zu bekommen. Dazu müßte der Spiegel entweder selber viel größer sein oder aber am Arm entlang verschiebbar gemacht werden, so daß man ihm die richtige Stellung nicht nur zur Lichtquelle, sondern auch gleichzeitig zum Ausschnitt geben kann. Die Einrichtung des Fernrohrs F war insofern etwas mangelhaft, als das Gebiet deutlicher Sichtbarkeit der Skala an das Ende des Auszugs bzw. eher darüber hinaus zu liegen kam.

### C. Zubehör.

Der weitaus wichtigste Bestandteil des Zubehörs sind die Magnete. Es gehören 2 verschiedene Paare von Magneten zum Theodoliten: 1 Paar von Deklinationsmagneten und 1 Paar von größeren Ablenkungsmagneten. Die äußere Form aller 4 Magnete ist die von Hohlzylindern.

Die Deklinationsmagnete (Fig. 2, unten links) sind 3.5 cm lang; ihr äußerer Durchmesser beträgt 1.25 cm, ihr innerer 0.85 cm. Jeder derselben trägt im Innern den Spiegel, an welchem das Fadenkreuz des Fernrohrs sich spiegelt; derselbe ist an einer Hülse befestigt, die leicht federnd in den Hohlzylinder eingeschoben wird, bis der Gesamtschwerpunkt unter den Aufhängestift zu liegen kommt. Zwei kreuzförmige Aufhängestifte sind in der Mitte des Magneten diametral aufgeschraubt. Die Ablenkungsmagnete sind 7.45 cm lang, ihr äußerer Durchmesser beträgt 1.5 cm, ihr innerer 1 cm. Auch sie haben Aufhängestifte ganz entsprechend denjenigen der Deklinationsmagnete; der Spiegel, der zur Beobachtung ihrer Schwingungsdauer gebraucht wird, ist jedoch nicht an den Magneten selbst, sondern an ihrem Gehänge angebracht (Spiegel S Fig. 5).

Alle Magnete sind aus bestem Wolframstahl hergestellt und sorgfältig magnetisch gehärtet. Die Magnete werden in Etuis, paarweise sich bindend, aufbewahrt.

Zum magnetischen Teil der Messungen ist an Zubehör noch erforderlich

a. die Reiterlibelle, welche auf die Fernrohrachse aufgesetzt wird, Empfindlichkeit etwa 15″
b. feiner Seiden- bzw. Messingfaden zum Aufhängen der Deklinations- und Ablenkungsmagnete; (Messingfaden ist jedoch wegen zu starker Torsionskraft nicht zu empfehlen);
c. Torsionsgewichte aus Messing zum Austordieren der Fäden, eines für das Deklinatorium vom Gewicht der Deklinationsmagnete und ein zweites für den Schwingungskasten vom Gewicht der Ablenkungsmagnete;
d. eine Anzahl Thermometer zur Bestimmung der Temperatur bei den Ablenkungen und bei den Schwingungen.

Zu astronomischen Messungen gehören

a. ein Sonnenspiegel, dessen Drehungsachse parallel zur Fernrohrachse aufgesetzt wird;

b. ein Satz von Sonnenblenden vor dem Okular. Eine einzige Blende, wie sie gewöhnlich dem Theodoliten beigegeben wird, genügt durchaus nicht für die Situationen im Felde; man braucht einen ganzen Satz wie bei den Sextanten.

c. Auf Bestellung[1]) wird noch ein astronomischer Aufsatz geliefert, der zur vollständigen astronomischen Ortsbestimmung ausreicht.

Praktisch nützliches Zubehör sind

a. eine Anzahl Schraubenzieher und Stellstifte zum Anziehen und Lösen der verschiedenen Schrauben;

b. Pinsel und Lederlappen zum Reinigen des Instruments;

c. einige Stück Spiegelglas, das im Feld oft höchst erwünscht ist, zur Beleuchtung der Ablesemikroskope oder der Skala im Schwingungskasten und ähnlichem.

An Reserveteilen für eine längere Reise empfiehlt es sich, etwa folgende Stücke mitzunehmen:

1 Gehänge für den Deklinations- } Magneten,
1 Gehänge für den Ablenkungs- }

je 1 ausgesuchten Spiegel für jedes der beiden Gehänge, eine Anzahl der kleinen, öfters gebrauchten Schräubchen an Torsionskopf und an der Fadenaufhängung, eine Rolle Aufhängefaden, ein Fläschchen Öl für die Achsen und zum Einfetten des Messingfadens.

Die Verpackung ist knapp, da das Ganze in so viele einzelne Teile zerlegt werden kann. Es ist gerade eine gute Traglast für einen Mann; am Holzkasten sollen Tragriemen und ein Polster für den Rücken angebracht sein. Höchst erwünscht für schwierige Transporte ist ein gepolstertes Lederfutteral, in welches der Holzkasten hineingesetzt wird; dann verträgt das Instrument sogar alle Unbilden einer wochenlangen Schlittenreise über schwieriges antarktisches Packeis, ohne den geringsten Schaden zu leiden.

## § 2. Das große Inklinatorium Tesdorpf.

(Tafel II.)

Das große Inklinatorium wurde um Neujahr 1901 in mehreren gemeinsamen Sitzungen von Herrn Tesdorpf und mir konstruiert und noch vor Abgang der Expedition in seinen Werkstätten fertiggestellt. So in dringender Eile entstanden, ist der Apparat etwas zu kompliziert und schwerfällig ausgefallen.

Die beiden Bedingungen, die er im Unterschied von gewöhnlichen Inklinatorien zu erfüllen hatte, waren folgende: 1. Das Gebiet der Kreisteilung für Inklinationen um 90° herum sollte nicht durch die Lagerträger verdeckt sein. 2. Der Apparat sollte die Messung der Vertikal- bzw. Totalintensität aus Ablenkungen nach der Sinusmethode gestatten; dabei mußte es möglich sein, jede beliebige Stellung der Nadel mindestens an einem Ende abzulesen. In Ermangelung von etwas Besserem hatte ich diese relative Methode der Intensitätsbestimmung auf Grund gemeinsamer Beratungen mit Professor Eschenhagen gewählt.

Das Material des Apparats war fast durchweg Magnalium; die Messingteile sind auf der Tafel an ihrem dunkleren Ton gegenüber dem weißgrauen Magnalium zu erkennen.

[1]) Die Tesdorpfschen Werkstätten sind in den Besitz der Firma Sartorius-Göttingen übergegangen.

Der Unterbau (Fig. 1a) ruht mit 3 Stellfüßen auf einer Grundplatte, die wie diejenige des Reisetheodoliten auf dem Kopf desselben Stativs befestigt wird. Der Unterbau trägt auf der beweglichen Scheibe S die Tischplatte T, auf welche der Fuß des Inklinationsgehäuses, durch 2 Zapfen geführt und durch Vorreiber gesichert, aufgesetzt wird. Die Tischplatte wird durch die tieferliegende Dosenlibelle D nivelliert; richtiger wäre es gewesen, das Niveau auf der beweglichen Tischplatte selber anzubringen, und zwar am besten 2 aufeinander senkrechte Röhrenlibellen, wie beim Lloyd-Creak-Apparat.

Die drehbare Scheibe S dient mittels 4 äquidistanten, an ihrem Rand eingeschnittenen Marken dazu, die Tischplatte bzw. das Inklinationsgehäuse in den magnetischen Meridian oder senkrecht dazu einzustellen. Dies geschieht in der Weise, daß 2 entsprechende, auf T befindliche, diametrale Marken mit 2 Marken von S zur Deckung gebracht werden, worauf die Linie dieser 4 Marken mit Hilfe des aufgesetzten Kompasses (Fig. 1c) in den Meridian gestellt wird. Danach wird die Scheibe S festgestellt, und ihre 4 Marken bieten nun die Möglichkeit, das Inklinationsgehäuse beliebig in den Meridian oder senkrecht dazu zu stellen. Einfacher und besser wäre es gewesen, die Scheibe S ganz fortzulassen und auf dem festen, unter S befindlichen Ring eine ganz einfache Gradeinteilung anzubringen.

Die 3 wichtigsten Einrichtungen eines Inklinatoriums sind

1. Lager und Arretierungseinrichtung der Nadeln,
2. Teilkreis und Anordnung der Nadeln zu demselben,
3. Ablesevorrichtung.

Tafel II zeigt dreierlei verschiedene Systeme; wir fahren zunächst in der Beschreibung des Inklinatoriums Tesdorpf fort. Die Einrichtung des Lagers und der Arretierung erläutert am besten Fig. 1b. Man sieht, wie das Gebiet der großen Inklinationen von den Lagerträgern freigelassen wird; man sieht auch, wie über dem Teilkreis der eine von beiden Trägern eine Ausbiegung erhalten hat, so daß immer das zum verdeckten Gebiet bezüglich der Vertikalen symmetrisch gelegene Gebiet auf der anderen Seite frei sichtbar bleibt. Die Figur zeigt endlich das Lager, zwei horizontale Schneiden aus Achat, sowie die Schraubeneinrichtung zu deren Justierung.

Eine besonders wichtige Rolle fällt der Arretierungseinrichtung zu, die viel wichtiger ist, als sie von den Konstrukteuren angesehen zu werden scheint. Ist sie es doch, welche der Nadel die definitive Stellung ihrer Achsen auf den Schneiden beim Desarretieren zuerteilt, und auf der Güte dieser Stellung beruht die Güte des ganzen Resultats. Die Tesdorpfsche Lösung der Aufgabe, die Nadelachsen in der Achse des Teilkreises exakt senkrecht auf die Kanten der Lagerschneiden niederzulegen, ist gut, aber sehr kompliziert ausgefallen, so daß wir uns darauf beschränken, die Hauptteile zu erwähnen.

Man sieht in der Figur 1b an der inneren Vorderseite des Instruments einen blanken Stift; derselbe trägt an seinem oberen Ende die arretierende Gabel und wird zugleich mit dem symmetrischen Stift auf der anderen Seite durch die Drehung des Hebels H um 180° (Fig. 1a) um ein geringes hoch oder tief gestellt, wodurch die Nadel entweder arretiert oder desarretiert wird. Die Gabeln fassen die Nadelachse in dem sehr steilen Konus, in welchem der dickste innere Teil der Nadelachse (Fig. 1d) in den mitteldicken übergeht. Gerade die Teile, wo

Nadelachse und Gabel einander berühren, müßten ganz exakt aufeinander abgepaßt sein, um eine eindeutige Lage der Achsen zu garantieren; dies ist auch beim TESDORPFschen Instrument keineswegs der Fall.

Das Nächstwichtige ist die Anordnung der Enden der nunmehr zentrisch gelagerten Inklinationsnadel zum Teilkreis. Beim Inklinatorium Tesdorpf ist die Ebene der frei schwingenden Nadel etwas hinter die Teilkreisebene gelegt, wie man in Fig. 1b erkennen kann. Auf beiden Nadelflächen sind je an den beiden Enden feine radiale Striche eingeritzt, so daß alle 4 Striche in einer Ebene durch den Nadelmittelpunkt senkrecht zur Nadelebene liegen; sie dienen zur Ablesung des Teilkreises. Um dabei die Parallaxe möglichst zu vermeiden, ist die Nadelebene bis auf wenige Zehntel Millimeter an die Teilkreisscheibe herangerückt. Die Erfahrung zeigt aber, daß diese Entfernung viel zu klein gewählt ist, und es ist dem Beobachter viel Mühe und Zeitverlust daraus entstanden, da die Nadel gar oft nicht frei schwang, sondern mit einem Ende an dem Teilkreis streifte. Bei jener so gering gewählten Entfernung bedarf es nur einer minimalen Unsymmetrie in der Lagerung, um ein Ende der Nadel dem Teilkreis bis zur Berührung zu nähern. Es waren dann immer allerlei unliebsame Manipulationen nötig, bis die Nadel wieder frei schwang.

Der Durchmesser des Teilkreises beträgt 11.5 cm; der Grad ist in 3 Teile geteilt, so daß die Doppelminute bequem geschätzt werden kann.

Die Ablesung geschieht durch 2 Mikroskope, deren Anordnung Fig. 1a zeigt. Das Mikroskop wird in seiner Hülse soweit verschoben, bis der obenerwähnte radiale Strich auf dem Nadelende und die Kreisteilung zugleich deutlich zu sehen sind. Das Mikroskop enthält außerdem noch als Ablesemarke die folgende auf einem Glasplättchen eingeätzte Figur: ||| ; in die Mitte des Doppelstrichs soll die Nadelmarke genommen, und danach an dem einfachen, über die Teilung weggehenden Strich der Kreis abgelesen werden. Diese unnötig komplizierte Ableseeinrichtung wurde jedoch nicht benutzt, da die Nadelmarke zur Ablesung des Teilkreises vollständig genügt; dieselbe war übrigens je nach der Beleuchtung oft nur schwer zu erkennen.

Das wichtigste Stück der Einrichtung zur Bestimmung der Vertikal- bzw. Totalintensität ist der zum Mikroskopträger senkrecht montierte Magnetträger Tr (Fig. 1a und 1b). Derselbe hat die Aufgabe, einen der beiden röhrenförmigen Ablenkungsmagnete, die wir oben beim Reisetheodolit kennen gelernt haben, in der Ebene der frei schwingenden Inklinationsnadel in radialer Richtung und konstanter Entfernung von der Mitte der freien Nadel festzustellen, so daß, wenn die freie Nadel durch die Mikroskope abgelesen wird, ablenkender und abgelenkter Magnet senkrecht auf einander stehen. Der hervorragende Stift des Trägers nimmt zwischen den beiden Backen B B, von denen die innere ein für allemal festgeschraubt wird, den Ablenkungsmagneten auf.

Der Magnetträger ist zusammen mit dem Mikroskopträger um eine gemeinsame Achse drehbar; beide werden durch den Ring R (Fig. 1a) gegeneinander versteift. Für dieses ganze Gestell war es nötig, ein solides Lager zu schaffen, dessen Träger L in Fig. 1a und 1b von außen und innen zu sehen ist. Da aber dieser etwas schwerfällig ausgefallene Träger L die Kreisteilung mehrfach verdeckt, war es nötig, ihn drehbar zu machen, um alle möglichen

Stellungen der abgelenkten oder nicht abgelenkten Inklinationsnadel unbehindert ablesen zu können. Die Scheibe, an welche L angegossen ist, ist daher in dem Wulst W (Fig. 1b) des Gehäuses drehbar und feststellbar angeordnet.

Der Deckelverschluß erfolgt nicht durch einfache Federung, sondern durch Schraubung, eine unnötig zeitraubende und bei großer Kälte schmerzhafte Prozedur.

So ist, um außer der Inklinations- auch die Intensitätsmessung zu ermöglichen, ein komplizierter und etwas allzu massiger Bau entstanden, der den großen Nachteil mit sich gebracht hat, daß die Beleuchtung der Inklinationsnadel eine schlechte, und die Beobachtung mit dem Instrument auch dadurch gar oft eine beschwerliche wurde.

Die äußere Form der Nadeln und ihrer Achsen ist in natürlicher Größe in Figur 1d zu sehen. Die Nadeln sind an den Enden nicht zugespitzt worden, wie üblich, weil dadurch nach der Ansicht von Professor Eschenhagen eine Schwächung ihrer magnetischen Kraft verursacht werden könnte. Man geht dabei des Vorteils verlustig, die Nadelspitze als Ableseindex benutzen zu können, welcher den oft schwer erkennbaren, eingeritzten Strichen bei weitem vorzuziehen wäre. Die beste äußere Form von den dreierlei, auf Tafel II abgebildeten Nadeln scheint mir die Doversche Nadel (Fig. 3c) zu haben, bei welcher die Zuspitzung der Enden die geringste Einbuße an Material zur Folge hat.

Die einzelnen Bestandteile der Nadelachse zeigt die Figur 1d; über die Güte derselben wird später im Kapitel „Inklination" die Rede sein.

## § 3. Das Deviations-Magnetometer (D. M.).

(Tafel II und III.)

Die bisher beschriebenen Instrumente sind lediglich für den Landgebrauch bestimmt. Im folgenden behandeln wir die Schiffsinstrumente unsrer Expedition, zugleich die beiden einzigen[1]) bei der Ausreise existierenden Typen magnetischer Schiffsinstrumente, das Deviations-Magnetometer, ein deutsches Instrument, und den Lloyd-Creak-Apparat, ein englisches Instrument, das sich aus dem alten Fox-Apparat entwickelt hat (siehe § 4). Dabei sehen wir ab vom Kompaß mit seinen verschiedenen Formen und Hülfsapparaten, wie sie z. B. im Handbuch der nautischen Instrumente, herausgegeben vom Reichs-Marine-Amt, beschrieben sind.

Das Deviations-Magnetometer ist im Jahre 1872 nach den Angaben von Neumayer durch Bamberg-Friedenau gebaut; seine Einrichtung zur Bestimmung der Horizontal-Intensität ist später durch Börgen verbessert worden. Eine systematische Verwendung auf hoher See scheint das Instrument vor unsrer Expedition nicht gefunden zu haben. Das Instrument ist nichts anderes, als ein vollständiger magnetischer Theodolit, der dem Bordgebrauch sich dadurch anpaßt, daß er in allen seinen Teilen möglichst einfach gebaut ist. Die einzige, rein seemäßige Zutat besteht in der unten beschriebenen Einrichtung, durch welche dem Gleiten der Inklinationsnadeln in Richtung ihrer Achsen vorgebeugt wird. Von dem Instrument als Ganzem ist zu sagen, daß es etwas zu zierlich gebaut ist, um den Strapazen einer mehrjährigen

[1]) Inzwischen ist der Bau und die Erprobung meines Doppelkompasses erfolgt; siehe das 1. Heft dieses Bandes.

Reise gewachsen zu sein und für die ganze Reisedauer die Kontinuität der Beobachtungsreihen mit Sicherheit gewährleisten zu können.

Es besteht aus dem Unterbau mit Limbus und Alhidade und aus den Aufsatzteilen zur Bestimmung der Deklination, Horizontalintensität und Inklination.

Der Unterbau (siehe Tafel III, Fig. 4) besteht aus einem Dreifuß auf Stellschrauben, welcher den Teilkreis trägt; der Teilkreis mit einem Durchmesser von etwa 10 cm ist in ganze Grade geteilt, ein Nonius auf der Alhidade gestattet bis auf 5 Minuten abzulesen. Im Teilkreis dreht sich der zentrale Tisch der Alhidade, auf welchen die einzelnen Teile des Instruments aufgesetzt werden, durch Führungszapfen und Vorreiber in eindeutiger Lage festgelegt. Am Rand der Alhidade sitzt das exzentrische Fernrohr, ihm gegenüber ein Reflexionsspiegel, beide nur zum Gebrauch an Land für den astronomischen Teil der Deklinationsmessung bestimmt. Nivelliert wird das Instrument durch eine Dosenlibelle, die auf das Tischchen der Alhidade aufgesetzt wird.

Die Befestigungsweise des D. M. am zugehörigen Stativ und das Stativ selbst sind für ein Reiseinstrument nicht solide genug; das Stativ wurde daher bei den Landbeobachtungen durch ein Tesdorpf-Stativ (Tafel I, Fig. 1) ersetzt, auf welches das Instrument mit Bindfaden festgelascht wurde. Mittels des Schraubengewindes S (Tafel III, Fig. 4) und der Mutterschraube M (Fig. 6) kann D. M. auf der Instrumentenplatte des Schlingertisches befestigt werden.

Zur Bestimmung der Deklination wird das Kästchen für die Horizontalnadel aufgesetzt, das man in Figur III, 3 offen sieht. Vermöge eines zentralen Zapfens an der Unterseite des Kästchens und eines Führungsstiftes auf der Alhidade erfolgt dies in der Weise, daß die Fernrohrachse des Instruments mit der mittleren Längsachse des Deklinationskästchens zusammenfällt. Diese Mittelachse ist äußerlich markiert durch 2 feine Häkchen zu beiden Seiten des Kästchens, auf deren Spitze das spitze Nadelende eingestellt wird (Fig. 2a); in der Mitte ist die Pinne (Fig. 2c) eingeschraubt. Auf diese wird die Nadel (Fig. 2b) aufgelegt; dieselbe ist mit einem Doppelhütchen versehen, so daß sie beliebig umgelegt werden kann. Ein Deckel mit Falz wird seitlich angeschraubt und schließt dicht gegen Wind und Spritzwasser (Fig. 2a). Die in Fig. 3 dargestellte, improvisierte Schattenstifteinrichtung, mit welcher an Bord die Sonne bequem zu beobachten ist, wird unter den Beobachtungsmethoden beschrieben werden.

Zur Bestimmung der Horizontalintensität wird auf das Deklinationskästchen statt des ebenerwähnten Deckels ein anderer, in Fig. III, 1 abgebildeter Deckel gesetzt, an welchem eine Ablenkungsschiene fest montiert ist, so daß beim Einspielen der Nadel ablenkender und abgelenkter Magnet zueinander sich in der beim Reisetheodoliten beschriebenen, sogenannten 1. Lamontschen Hauptlage befinden. Zur Festlegung der Richtung und Entfernung des Ablenkungsmagneten bezüglich der Instrumentenmitte ist auf der Schiene eine Rinne von der Breite des Magneten eingefräst, und in der Mittellinie dieser Rinne sind auf beiden Armen der Schiene je im Abstand von 16.5 und 19 cm von der Mitte Löcher gebohrt, in welche ein entsprechender Zapfen an der Unterseite des Magneten eingesteckt wird.

Hervorzuheben ist, daß zwei feste Entfernungen für eine Forschungsreise, die gleichzeitig hohe und niedrige Breiten umfaßt, nicht genügen. Bei den obigen Entfernungen wurden unter niedrigen Breiten die Winkel zu klein, die Messungen daher ungenau, während unter hohen

Breiten für die kleine Entfernung überhaupt kein Ablenkungswinkel mehr existierte. Daher wurde von Kerguelen ab durch Bohrung von zwei neuen Löchern eine weitere Entfernung von 20.5 cm eingeführt.

Es ist dringend erwünscht, überall mit zwei Entfernungen Ablenkungsversuche anstellen zu können; am besten scheint es, die Schienen künftig für folgende vier Entfernungen einzurichten: 14, 16.5, 19 und 21.5 cm; sie geben für jede Breite zwei Ablenkungswinkel von günstiger Größe, von etwa 50 und 30°. Außerdem sollte man die Ablenkungsschiene künftig nicht mehr zerlegbar machen, da hierdurch nichts gewonnen ist, dagegen sehr leicht die Sicherheit der Entfernungen gefährdet wird.

Die äußere Form der Ablenkungsmagnete zeigt Fig. 1. Der daselbst sichtbare Haken dient dazu, um den Magneten in einem dem Instrument beigegebenen primitiven Schwingungskasten aufzuhängen. Solche Schwingungsversuche zur Prüfung der Konstanz des magnetischen Moments können natürlich nur an Land ausgeführt werden. Da jede Art mechanischer Dämpfung des Magneten fehlt, ist das Einhängen und Beruhigen des Magneten eine rohe, unschöne Arbeit. Schlimmer aber ist, daß die Haken der Ablenkungsmagnete zu lang und zu zart gebaut sind, um für eine lange Reise die Konstanz des Trägheitsmoments garantieren zu können. Wegen dieser Unsicherheit mußten die Schwingungsversuche schon auf der Ausreise aufgegeben werden.

Zur Bestimmung der Inklination wird das Inklinatorium (Tafel II, Fig. 2) auf das zentrale Tischchen des Unterbaues aufgesetzt, durch zwei Stifte so geführt, daß die Teilkreisebene des Inklinatoriums die Mittellinie des vorher ebenso aufgesetzten Deklinationskästchens enthält, also z. B. im magnetischen Meridian steht, wenn vorher die Horizontalnadel einspielte.

Die innere Einrichtung sieht man in den Figuren 2a und 2b der Tafel II. Das Lager der Nadelachsen ruht auf zwei Böcken, die vom Boden des Instruments frei bis zur Mitte reichen. Dieselben sind zu schwach gebaut, so daß sich z. B. nach einer Landung die Entfernung ihrer oberen Enden, der beiden Lagerteile, veränderte; um ein richtiges Spielen der Nadeln zu ermöglichen, mußten die Lagerböcke wieder etwas auseinandergebogen werden.

Abb. 3. **Lagerung der Nadelachsen im Inklinatorium von D. M.**

Der Querschnitt des Lagers selbst hat in etwa zehnfacher Vergrößerung die hier abgebildete[1]) Form: jede Seite des Lagers besteht je aus zwei Steinen, einem Steine H, auf dessen innerem schmalen, horizontalen Rand die zylindrische Achse der Nadel ruht, und einem Stein V, gegen dessen innere Wand das abgerundete Ende der Nadelachse sich anlegt, wodurch bei schwankendem Schiff ein Gleiten der Nadel in Richtung ihrer Achse verhindert wird. Die Fassungen

[1]) Der dicke Teil der Nadelachse ist in der schematischen Abbildung etwas zu schwach ausgefallen.

dieser Steine sind am Oberteile der Lagerböcke befestigt und durch Schrauben so zu justieren, daß die Lagerränder horizontal stehen.

Die Arretierungseinrichtung besteht aus zwei Gabeln, welche die Nadelachse unmittelbar an den Enden des dickeren Mittelstücks (Fig. 2d) fassen. Die Gabeln sind an den oberen Enden eines gemeinsamen Trägers befestigt, der an den Innenwänden der Lagerböcke gleitend durch einen Exzenter hoch und tief gestellt werden kann. Der Handgriff H dieses Exzenters (Fig. 2a) ist dabei etwas unzugänglich angebracht, was die Hantierung in kaltem Wetter mit steifen Händen sehr erschwerte. Auch die eben geschilderte Arretierungseinrichtung ist zu schwach gebaut; insbesondere ist die Führung des beweglichen Teils geradezu mangelhaft, so daß diese Einrichtung auf die Dauer nur in ungenügender Weise ihren Zweck erfüllt; und doch soll die Arretierungseinrichtung den Achsen der Inklinationsnadeln die exakte, eindeutige Stellung auf dem Lager geben, von deren Güte die Güte des ganzen Resultats abhängt!

Der Teilkreis ist in ganze Grade geteilt; sein Durchmesser beträgt ca. 11 cm. Er ist leider quadrantweise geteilt; besser wäre Durchteilung von 0—360°. Die Ebene des Teilkreises liegt etwa 2.5 mm hinter der Mittelebene der frei schwingenden Inklinationsnadel, so daß die mittlere Entfernung der hinteren Fläche der 1 mm starken Nadel von der Teilkreisebene etwa 2 mm beträgt. Die spitzen Enden der etwa 11,3 cm langen Nadeln ragen beiderseits etwas über den Teilkreis herüber. Zur Vermeidung der Parallaxe bei der Ablesung der über dem Teilkreis schwingenden Spitze ist keinerlei instrumentelle Einrichtung vorhanden; wir werden später sehen, welche große Mühen daraus der Bearbeitung entstanden sind.

Die äußere Form der Nadeln und ihrer Achsen ist durch die Figuren 2c und 2d in natürlicher Größe gegeben und dadurch genügend erläutert. Wie oben erwähnt, dienen die Nadelenden als Indices für die Ablesung; die Nadeln sind dazu der ganzen Länge nach zugespitzt. Wenn man statt dessen die Breite der Nadeln bis gegen das Ende hin beibehält und nur das Ende selbst zuspitzt, wie etwa Fig. 3c zeigt, wird mehr Material gewonnen und dadurch der Nadel ein größeres magnetisches Moment bewahrt.

Unter dem Zubehör sind zu nennen:

1. zwei Ummagnetisierungsstäbe, die etwas zu schwach geliefert wurden;

2. ein Ummagnetisierungsblock, auf welchen die Nadel beim Ummagnetisieren gelegt wird. Derselbe ist nicht ganz sachgemäß gebaut, insofern man dabei direkt auf den Nadeln selbst zu streichen hat. Zwei schmale Metallrahmen, welche die auf das Holz gelegte Nadel einfassen und welche ein wenig stärker sind als die Nadel selbst, sollten den Druck des Streichens aufnehmen und dadurch die Nadeln vor einer Umlagerung des Schwerpunkts durch das Streichen schützen;

3. ein Thermometer für die Intensitätsbeobachtungen. Dasselbe fehlte bei unserem Instrument; es fehlt auch eine Einrichtung, das Thermometer während der Beobachtung in unmittelbarer Nähe des Magneten zu befestigen;

4. ein Blendglas zur Beobachtung der Sonne mit dem Fernrohr. Ein Blendglas genügt nicht; man braucht einen kleinen Satz von Gläsern, wie beim Sextanten, um für die verschiedenen Helligkeitsgrade der Sonne gerüstet zu sein;

5. eine Pinzette zum Einlegen der Inklinationsnadel, die weicher federn sollte;

6. endlich Stellstift und Schraubenzieher zum Justieren, Lederlappen, Öl.

## § 4. Lloyd-Creak-Apparat (L. C.).

(Tafel II.)

Vor der Ausreise des englischen Südpolarschiffs „Discovery" hat Kapitän CREAK von der britischen Admiralität den Lloyd-Creak-Apparat konstruiert. Der Apparat wird durch die Firma DOVER, NEW CARLTON, Kent in England hergestellt und ist entstanden als Verbesserung des alten Fox-Apparats, der kurz vor 1839 für die antarktische Expedition unter JAMES CLARK ROSS gebaut wurde und der bis 1900 wohl alles Material der Inklination und Intensität von hoher See geliefert hat. Der Fox-Apparat ist beschrieben im Handbuch der nautischen Instrumente, herausgegeben vom Reichs-Marine-Amt.

Es waren zwei Hauptpunkte, hinsichtlich welcher Kapitän CREAK den Fox-Apparat zu verbessern suchte, nämlich hinsichtlich der Lagerung der Nadelachsen und hinsichtlich der Einrichtung zur Bestimmung der Intensität. Um auf dem schwankenden Schiff die Inklinationsnadel sicher zu lagern, hatte Fox die Enden der Nadelachse je in die Spitze eines kegelförmigen Ausschnitts aus Stein verlegt; zum Einlegen und Herausnehmen der Nadel mußten natürlich beide Lager zusammen und auseinander geschraubt werden. Durch diese Einrichtung wurden die Nadelachsen mit der Zeit stark ruiniert, worunter die Genauigkeit der Beobachtung empfindlich zu leiden hatte. Die Methode der Intensitätsbestimmung aus Ablenkungen, wo die Inklinationsnadel durch einen senkrecht zu ihrer Ebene und unmittelbar über einem ihrer Enden befestigten Magneten abgelenkt wurde, war zu grob; diejenige durch Ablenkung vermittelst eines Gewichtchens, das an einem Faden hing und an einem zentralen Rädchen der Inklinationsnadel angriff, erwies sich als ungeeignet für Bordgebrauch. Aus diesen Gründen entschloß sich Kapitän CREAK zu der im folgenden beschriebenen Neukonstruktion des Apparats.

Ein solider Unterbau trägt einen horizontalen Teilkreis von 11.9 cm Durchmesser, der bis auf halbe Grade geteilt ist. Die Teilung ist unnötig fein, und dadurch die Ablesung unnötig erschwert; die Teilung in ganze Grade genügt vollständig. Innerhalb des Teilkreises bewegt sich die Grundplatte mit einem Nonius, welcher den horizontalen Teilkreis mit der illusorischen Genauigkeit von einer Bogenminute abzulesen gestattet, statt des Nonius wäre ein einfacher Index vorzuziehen, der die Zehntelgrade zu schätzen erlaubt. Die Grundplatte trägt das zentral aufgesetzte Inklinationsgehäuse mit dem Vorbau, der die Einrichtungen zur Ablesung und zur Bestimmung der Intensität enthält. Endlich sind auf der Grundplatte zwei zueinander senkrechte Röhrenlibellen befestigt, welche das Instrument zu nivellieren gestatten.

Die Hauptteile des Inklinationsgehäuses sind die Lager für die Nadelachsen, die Arretierungseinrichtung und der Teilkreis. Die beiden Lager für die Nadelachsen ruhen je in einer Fassung, die an einem sehr soliden Träger angeschraubt ist. In Figur 3a sieht man in das von hinten zu öffnende Inklinationsgehäuse hinein: der Querstab Tr von 12 mm Höhe und 4 mm Dicke ist der hintere der beiden Lagerträger. Durch die beiden größeren Schräubchen, die man in der Mitte von Tr auf der Figur sieht, ist die Platte der Fassung am Träger befestigt. Die Fassung selbst besteht nur aus einer zylindrischen Ausbohrung in Messing, in welche die zylindrischen Steine des Lagers eingeschoben sind. Man sieht das Ende dieser Ausbohrung in der Mitte von Tr zwischen den beiden kleinen Schräubchen. Löst man dieselben,

so nimmt man zuerst einen kleinen Preßring heraus, welcher unter dem Druck der beiden kleinen Schräubchen die Steine gegen die innere Grundfläche der Fassung anpreßt; dann folgt der Stein V des Lagers (s. die untenstehende Abbildung), gegen dessen innere vertikale Wand das Ende der Nadelachse anliegt, sodann der halbzylindrische Stein H, dessen obere Hälfte weggeschnitten ist, und dessen zentrale Rinne das eigentliche Lager der Achse bildet. In die Fassung der Steine ist eine geeignete Öffnung eingeschnitten, durch welche von oben her das Achsenende eingeführt und auf die Lagerrinne gelegt werden kann. Untenstehende Zeichnung veranschaulicht in 10facher Vergrößerung die Lagerung des Achsenendes. Die winzig kleine Rinne R mit einem Durchmesser von 0.15 mm und einer Länge von 0.25 mm bildet den ganzen wesentlichen Teil des Lagers: ihre Wandung ist die einzige Stelle, wo die Nadel mit ihrem äußerst feinen, zylindrischen Ende von 0.1 mm Dicke aufliegt. Der an die Rinne sich anschließende Konus von H öffnet sich nach innen so rasch, daß keinerlei Berührung der sich verdickenden Achse der Nadel mit dem Stein stattfindet. Unschwer erkennt man in dieser Form des Lagers den Fortschritt gegen diejenige des Fox-Apparates, der einfach darin besteht, daß die zum Stein H symmetrische obere Hälfte fortgelassen ist. So können nun beide Lager ein für allemal festgelegt werden.

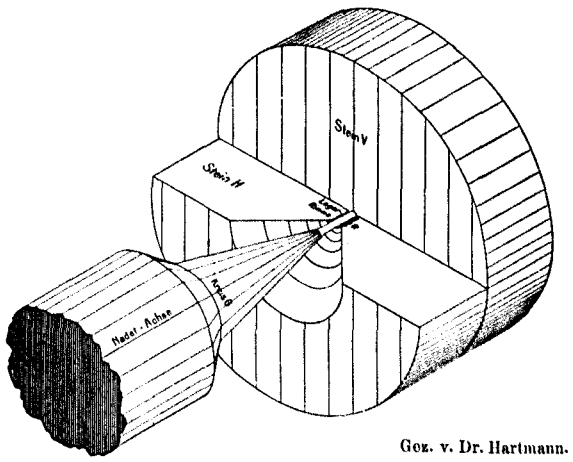



Abb. 4. **Lagerung der Nadelachsen bei L. C.**
(10fache Vergrößerung.)

Das äußerst feine Achsenende, das in einer Länge von 0.5 mm nur 0.1 mm dick ist, ist gewählt, um die Reibung möglichst zu verringern; immerhin ist dadurch die Achse für die Praxis einer längeren Reise zu fein ausgefallen; die Enden brechen gar zu leicht ab, und es ist dringend zu raten, sich vor der Ausreise sehr reichlich mit Nadeln bzw. Achsen zu versehen. Die Rinnenform des Lagers ist gewählt, um ein Gleiten der Nadel in ihrer Schwingungsebene auf dem schwankenden Schiff zu verhindern. Die Erfahrung mit dem Deviationsmagnetometer hat indes gezeigt, daß die Nadel auch auf ganz horizontalen Lagerschneiden an Bord nicht gleitet, wenn man von ganz vereinzelten, außergewöhnlichen Umständen absieht. Die einfache Schneide ist ein viel exakter definiertes Lager und deshalb der Rinnenform von den obigen winzigen Dimensionen mit ihrer viel größeren Reibung und ihren erheblicheren zufälligen Fehlern vorzuziehen.

Der Stein V dient dazu, mit seiner inneren vertikalen Wand ein Gleiten der Nadel in Richtung ihrer Achse zu verhüten. Die Entfernung der Innenwände der beiden Steine V, welche die Länge der Nadelachsen um eine Kleinigkeit übertreffen soll, war etwas zu knapp bemessen; dazu waren leider bei unserem Instrument die Steine der einen Seite nicht ganz solide, sondern mit ein wenig Spielraum in ihrer Fassung befestigt, wie ich erst nach dem Abschluß aller Beobachtungen bemerkte, als ich zur Beschreibung das Instrument auseinandernahm. Im ganzen scheint mir die beschriebene Lagerung für ein Schiffsinstrument viel zu fein. Was ist das für eine schwierige Aufgabe, dafür zu sorgen, daß auf schwankendem Schiff eine Achse von etwa $2^1/_4$ cm Länge mit ihren Nadelspitzen in zwei winzige Rinnen von 0.1 mm Tiefe und 0.25 mm

Länge jederzeit richtig eingelegt wird! Tatsächlich sind, wie die Bearbeitung der Beobachtungen zeigt, vielfache Unregelmäßigkeiten vorgekommen.

Wenn es trotzdem gelungen ist, diese schwierige Aufgabe wenigstens mit einiger Sicherheit zu lösen, so ist dies der guten Arretierungseinrichtung zu verdanken: an der Innenseite der Lagerträger gleitet ein Rahmen, der um die Achse A (in der Figur 3a durch die Schraube am rechten Ende des Lagerträgers dargestellt) drehbar ist. Das linke Ende des Rahmens wird durch einen Exzenter, dessen Handgriff H in der Figur sichtbar ist, um ein geringes hoch und tief gestellt, so daß die Mitte des Rahmens, wo die beiden Arretierungsgabeln festgeschraubt sind, nur etwa um 1 mm in vertikaler Richtung sich zwischen ihren beiden Endlagen bewegt. Die beiden scharfkantigen Gabeln fassen bei der Aufwärtsbewegung die Nadelachse je an der Stelle, wo der spitz konische Teil in den stumpf konischen Teil übergeht (siehe den Kreis G in der Abbildung 4). Die Entfernung der beiden Gabelkanten ist gleich der Entfernung der beiden Kreise G auf der Achse; vermöge des stumpfen Konus gleitet die Nadel beim Einlegen von selbst in die richtige Stellung, nämlich in diejenige, wo die beiden Kreise G auf den Gabelkanten aufliegen.

Die Ebene des Teilkreises fällt mit der Mittelebene zwischen den beiden Steinen V, also auch mit der Schwingungsebene der Inklinationsnadeln zusammen. Der Durchmesser des Teilkreises beträgt 11.46 cm. Da die Nadeln 11.4 cm lang sind, beträgt die Entfernung zwischen den spitzen Nadelenden und dem Metallkreis, innerhalb dessen sie schwingen, nur wenige Zehntel Millimeter. Die Teilung ist durchlaufend von 0—360°; der Grad ist noch in sechs Teile geteilt, so daß die Teilung mit bloßem Auge kaum erkennbar ist und mit Mikroskopen abgelesen werden muß. Ein radialer Faden im Mikroskop gestattet die Zehntel der letzten Unterabteilung, d. h. die vollen Minuten, abzuschätzen.

Wie unangebracht eine derartige Feinheit der Teilung für ein Schiffsinstrument ist, geht daraus hervor, daß an Bord die Nadeln dauernd in Schwingungen begriffen sind, die sich über mehrere Grade erstrecken, sehr häufig 5 Grad, vielfach 10 Grad überschreiten, ja bei der belasteten Nadel an Bord des „Gauß" sogar 100 Grad erreichten. Was nützt unter solchen Umständen eine Teilung, die bis zu $^1/_6$ Grad getrieben, eine Ablesung, die auf Minuten eingerichtet ist! Sie schadet nur und hatte mancherlei Schwierigkeiten und Mühen zur Folge, wie wir später des näheren sehen werden.

Die Anordnung der Ablesemikroskope steht in innerem Zusammenhang mit der Einrichtung zur Bestimmung der Intensität. In Figur 3b sieht man an der Vorderseite des Instruments ein rechtwinkliges Kreuz, das durch einen Ring in sich verstärkt ist. Das Kreuz ist drehbar um seine Symmetrieachse, die zusammenfällt mit der Symmetrieachse des Teilkreises, also auch mit der Achse der frei schwingenden Inklinationsnadel. Der eine Arm des Kreuzes trägt die Ablesemikroskope, der andere, dazu senkrechte Arm das Lager für die ablenkende Nadel.

Die Mikroskope geben bei zehnfacher Vergrößerung ein Gesichtsfeld auf dem Teilkreis von nur 5 Grad. Wird schon durch den ganzen komplizierten Vorbau das Innere des Instruments verdunkelt, so wird die Dunkelheit des Teilkreises noch erheblich durch die Mikroskope gesteigert: sie verursachen nicht nur die Verdunkelung der abzulesenden Stelle durch den Kopf

des Beobachters, der das Auge an das Mikroskop-Okular hält, sondern schwächen außerdem die Helligkeit des Teilkreises durch ihre starke Vergrößerung, die ihrerseits wieder durch die Feinheit der Teilung bedingt ist. Die so entstehende Dunkelheit des Instruments ist ein schwerer Übelstand, der das Beobachten vielfach gehindert, wenn nicht gar verhindert hat.

Das Lager für die ablenkende Nadel, welche genau die Form einer Inklinationsnadel hat, befindet sich auf dem andern Arm des rechtwinkligen Kreuzes. Dasselbe besteht aus zwei niedrigen Böcken, welche symmetrisch zur Mitte sitzen und an ihrer Außenfläche zwei flache, spitzenförmige Einschnitte tragen, in welche die beiden zugespitzten Enden der Nadeln gerade hineinpassen. Über die beiden Nadelenden wird dann, um die Nadel festzuhalten, je ein Plättchen geschoben, das seitlich festgeschraubt wird. Der innere Teil der Nadelachse ist in einer zentralen Ausbohrung versenkt, der äußere durch den Rahmen R (Fig. 3b) geschützt, der über das Lager geschoben wird und zugleich die Aufgabe hat, die ablenkende Nadel vor dem Temperatureinfluß des Beobachters zu schützen.

Vermöge der eben geschilderten Einrichtung sind beim Ablesen der freien abgelenkten Nadel durch die Mikroskope stets ablenkende und abgelenkte Nadel aufeinander senkrecht; ihre Mittelpunkte liegen auf einer gemeinsamen Senkrechten zu ihren Ebenen, die einen konstanten Abstand von 7 cm haben. In dieser Beschränkung auf eine Entfernung liegt ein Mangel des Instruments, der zur Folge hatte, das bei schwacher Totalintensität in niedrigen Breiten überhaupt keine Ablenkungsbeobachtungen mehr angestellt werden konnten. Man kann diesem Übelstand dadurch abhelfen, daß man sich für die Zonen verschiedener Intensität mit verschieden starken Ablenkungsmagneten ausrüstet, wie wir es auf der Rückreise gemacht haben.

Der Ring mit den Mikroskopen und dem Lager für die ablenkende Nadel besitzt eine in Figur 3b sichtbare Klemmung und Feinverstellung.

Zu dem Instrument gehören entsprechend seiner doppelten Bestimmung zwei Arten von Nadeln: Inklinationsnadeln und Intensitätsnadeln. Die äußere Form ist jedoch bei allen genau dieselbe; sie ist in Figur 3c und 3d in natürlicher Größe abgebildet; das spitze Ende dient als Index für die Ablesung. Während die Inklinationsnadeln bei jeder Messung ummagnetisiert werden, sind die Intensitätsnadeln während der ganzen Reise ängstlich vor jeder Veränderung ihres Magnetismus zu schützen. Sie gehören immer paarweise zusammen, als ablenkende und abgelenkte Nadel, und werden auch paarweise aufbewahrt, wobei man sorgfältig auf konstante gegenseitige Bindung zu achten hat. Die ablenkende Nadel kann ebenfalls wie die Inklinationsnadel oder die abgelenkte Nadel in das Instrument eingehängt werden: sie ist aber einseitig beschwert durch ein konstantes Gewichtchen, das auf einer Basisstation der Reise in eines der beiden dazu vorhandenen Gewinde am Ende der Nadel eingeschraubt wird (Figur 3c). Unser Expeditionsinstrument war mit drei Inklinationsnadeln und zwei Paaren von Intensitätsnadeln ausgerüstet. Über den prinzipiellen Fehler der Beobachtungsmethode mit belasteter Nadel siehe das Kapitel „Intensität“.

Das Zubehör des Instruments besteht aus:

1. einem Thermometer, das innen auf dem Teilkreis befestigt ist. Streng genommen sind seine Angaben nur für die Versuche mit der belasteten Nadel, die im Innern des Instruments hängt, gültig. Für den methodisch zweckmäßigeren Ablenkungsversuch braucht man ein

Thermometer außerhalb, in unmittelbarer Nähe der ablenkenden Nadel, das zweckmäßigerweise etwa in dem Schutzrahmen R angebracht würde;

2. einem Kratzer K (Figur 3a), mit dessen rauher Fläche man während der Beobachtung dauernd über den Dorn D des Instruments sanft wegstreicht, um durch die leisen Erschütterungen die Reibung der Nadelachsen überwinden zu helfen;

3. einer Pinzette zum Fassen und Einlegen der Nadelachsen; dabei muß man die Nadel horizontal halten und zuerst die eine Seite der Achse auf die Arretierungsgabel legen, worauf die andere von selbst in die richtige Stellung gleitet; entsprechend verfährt man beim Herausnehmen;

4. einem Gegengewicht G, das in Figur 3b auf der Rückseite des Instruments sichtbar ist und angesteckt wird, um den Vorbau des Instruments auszubalancieren, wenn dasselbe auf dem frei schwingenden Schlingertisch steht;

5. aus zwei Ummagnetisierungsstäben und einem Block zum Ummagnetisieren, der denselben Mangel hat wie der Block von D. M., daß er nämlich nicht den Druck der über die Inklinationsnadel hinwegstreichenden Magnete aufnimmt;

6. einem Satz von Gewichtchen für die belastete Nadel, um bei stark wechselnder Breite das Gewicht ändern zu können;

7. endlich einem Lederlappen und einer großen Anzahl von Hollundermarkstäbchen, um die Nadeln und ihre Achsen dauernd rein zu halten.

## § 5. Der Schlingertisch an Bord.

(Tafel III und IV.)

Tafel III, Figur 5 zeigt den Schlingertisch, auf dessen cardanisch aufgehängter Platte sämtliche magnetische Messungen an Bord des „Gauss“, soweit sie zu wissenschaftlichen Zwecken dienten, vorgenommen worden sind. Ein schweres Holzgestell gewährte dem Beobachter auch unter schwierigen Verhältnissen jeden erwünschten Halt, ohne Beeinträchtigung der frei schwingenden Instrumentenplatte, deren Pendel im Hohlraum des Gestells nach allen Seiten mit einem Spielraum von 30° schwingen konnte. Und trotz dieses weiten Spielraums hat das Pendel in dem Gebiet der südlichen Westwinde gar manches Mal während der Beobachtung angeschlagen!

Figur 6 zeigt die Tischplatte, an welche das aufgesetzte Instrument mit Hülfe der Mutterschraube M feßt angepreßt werden kann. An ihrer Unterseite ist ein Pendel mit einem schweren, in Höhe verstellbaren Bleigewicht angebracht. Die Platte hängt in dem in der Figur am Boden stehenden Ring, der seinerseits mit seinen Zapfen in einem am Holzgestell befestigten Lager aufgehängt wird. Alle Achsen spielen mit Schneiden auf ihren Lagern; ich würde künftig runde Zapfen den Schneiden vorziehen, um durch Reibung die Eigenschwingungen des Tisches etwas zu dämpfen.

Die beiden Schwingungsachsen der cardanischen Aufhängung waren an Bord längsschiffs und querschiffs angeordnet; durch aufsetzbare Zeiger und Gradteilungen konnten die Ausschläge des Schiffs beim Rollen und Stampfen abgelesen werden. War der Tisch nicht in Gebrauch, so wurde das schwere Pendel durch die Arretierungseinrichtung A (Figur 6) festgestellt und

etwas angehoben, ohne daß dabei die Instrumentenplatte aus ihrem Lager ausgehoben wurde.

Den Hauptnachteil der ganzen Einrichtung will die augenblickliche Stellung von Tisch und Apparat in Figur 5 zum Ausdruck bringen. Bei einigermaßen starken Schiffsbewegungen wurden die unteren Partien des aufgesetzten Instruments wegen des hochkommenden Holzrahmens vorübergehend schwer zugänglich: mit welchen Schwierigkeiten z. B. das Ablesen des unteren Mikroskops bei der Situation von Figur 5 verknüpft sein mußte, kann man sich denken. Unter denselben Umständen stieß die Ablenkungsschiene von D.-M., welche länger war, als der Durchmesser der Tischplatte, am Holzrahmen an; durch einen kleinen Aufbau wurde in solchen Fällen das ganze Instrument höher gestellt, bis dem Übelstand abgeholfen war.

Die Lage des Schlingertischs auf der Brücke des „Gauss“, insbesondere seine Lage zu den hauptsächlichsten Eisenmassen an Bord, veranschaulicht die Tafel IV. Vertragsmäßig war beim Bau des Schiffes 8 m im Umkreis vom Schlingertisch alles Eisen so gut wie vermieden worden; aber die Maschinenanlagen, die dicht hinter dieser Schutzgrenze anfingen und sich von da bis zum Heck des Schiffes fortsetzten, haben trotzdem durch ihre Eisenmassen einen beträchtlichen störenden Einfluß auf unsere Beobachtungen ausgeübt, und es hat einen ganz gewaltigen Aufwand von Arbeit und Zeit erfordert, um diesen Schaden einigermaßen wieder gut zu machen (vergleiche Kapitel 3).

# Zweites Kapitel.

# Die Grundlagen der Intensitätsmessungen: Messungen mit dem Reisetheodoliten auf den Basisstationen.

## Abschnitt I. Die Theorie der Beobachtungen.

### § 6. Allgemeine Darstellung der Methode.

In aller Kürze mögen hier die grundlegenden Verhältnisse zusammengestellt werden, obwohl dabei fast lauter bekannte[1]) Dinge vorzubringen sind; dem Leser möge dadurch das Nachschlagen von Literatur möglichst erspart werden, außerdem können manche Bemerkungen zur Methodik hier Platz finden.

Mittels des magnetischen Theodoliten setzen wir die unbekannten Größen der erdmagnetischen Horizontalintensität $H$ einerseits und der magnetischen Kraft eines Magneten vom Moment $M$ andererseits durch zwei Fundamentalversuche miteinander in Beziehung: durch den Ablenkungsversuch wird das Verhältnis $(H : M)$, durch den Schwingungsversuch das Produkt $(H \cdot M)$ ermittelt.

---

[1]) Vergleiche insbesondere das grundlegende Werk: Lamont, Handbuch des Erdmagnetismus, Berlin 1849.

**Beim Ablenkungsversuch**

wird der Einwirkung dieser beiden Kräfte, von $H$ und von $M$, ein zweiter beweglicher Magnet $M'$ ausgesetzt, welcher in horizontaler Lage in seiner Mitte zunächst torsionsfrei aufgehängt sein soll. Diesen Magneten, der durch irgend einen seiner Teile (Spitze oder Spiegelnormale) den Index für den Ablenkungsversuch abgibt, bezeichnen wir künftig mit Börgen als „Nadel" zum Unterschied von dem ablenkenden Magneten $M$, dem „Magneten" schlechtweg. Wir unterscheiden dabei die analogen Größen von Magnet und Nadel durch die Bezeichnung voneinander, indem wir alle zur Nadel gehörigen Größen mit einem Indexstrich versehen.

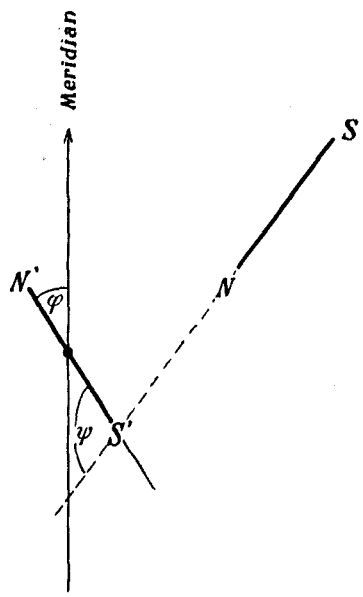


Abb. 5.

Der Magnet befinde sich irgendwo in fester horizontaler Lage in der Nähe der Nadel, so daß die magnetischen Mittelpunkte beider sich in derselben Horizontebene im Abstand $e$ voneinander befinden mögen. Bildet die magnetische Achse der Nadel mit derjenigen des Magneten den Winkel $\psi$, mit dem magnetischen Meridian den Winkel $\varphi$, so ist die Bewegung der Nadel dargestellt durch die Gleichung:

$$K'\frac{d^2\varphi}{dt^2} = MM'\frac{\sin\psi}{e^3}F - M'H\sin\varphi. \tag{1}$$

$K'$ bedeutet das Trägheitsmoment der Nadel und $F$ eine Funktion von der Dimension einer Zahl, welche von der gegenseitigen Lage beider Magnete, sowie ihrer magnetischen Verteilung abhängt, und die praktisch möglichst in der Nähe von 1 gehalten wird.

Bei der Lamontschen Anordnung des Magnettheodoliten stehen in dem Augenblick, wo die Nadel „sich einstellt", die beiden magnetischen Achsen aufeinander senkrecht, $\psi$ wird $= 90^0$, und die magnetische Achse des Magneten zeigt auf die Mitte der Nadel.

Gleichung 1 geht dadurch über in

$$\boxed{\frac{H}{M_0} = \frac{1}{\sin\varphi_0}\cdot\frac{2F}{e_0^3}}, \tag{2}$$

$$\text{wo } F = 1 + \frac{1}{e^2}\left(2\frac{M_3}{M} - 3\frac{M_3'}{M'} + D\right) + \frac{1}{e^4}\left(3\frac{M_5}{M} - 15\frac{M_3}{M}\frac{M_3'}{M'} + \frac{45}{8}\frac{M_5'}{M'}\right) \text{ usw.} \tag{2a}$$

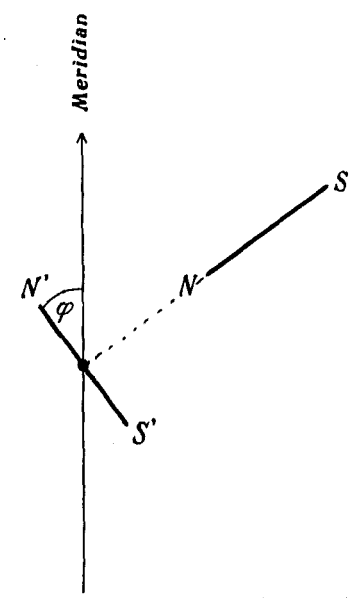


Abb. 6.

Wir haben in Gleichung 2 die Größen $M$, $\varphi$ und $e$ mit dem Index 0 versehen, um anzudeuten, daß die Beobachtung des Winkels $\varphi_0$ bei einem gewissen Normalzustand von $M$ und $e$ stattgefunden haben soll. Durch den Index 0 unterscheiden wir künftig die Normalwerte der konstanten und beobachteten Größen von denselben, mit dem Index $p$ versehenen Größen, welche unter dem Einfluß eines veränderlichen Parameters $p$ vom Normalwert etwas abweichen.

Die von LAMONT eingeführten Größen $M_n$ von Gleichung 2a sind definiert als Integrale $\int x^n dm$ über die Länge des ganzen Magneten $M$, wo $dm$ die kleine magnetische Masse im Abstand $x$ von der Magnetmitte bedeutet; das Analoge gilt für die Nadel. Ist $n$ eine gerade Zahl, so verschwinden die Integrale bei symmetrischer Verteilung der Magnetismen, welche man bei einem guten Magneten als vorhanden annimmt. Anschaulicher kann man $(M_{2n+1} : M)$ als $(^1/_2\, l)^{2n}$ deuten, wo $l$ die sogenannte „Poldistanz" bedeutet, die von KOHLRAUSCH zu $^5/_6$, von BÖRGEN zu $^4/_5$ der Magnetlänge gesetzt wird. Dabei wird freilich die mehr oder weniger zutreffende Annahme gemacht, daß

$$\left(\frac{M_3}{M}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{M_5}{M}\right)^{\frac{1}{4}} = \cdots \left(\frac{M_{2n+1}}{M}\right)^{\frac{1}{2n}} = \frac{l}{2} \text{ sei.}$$

In Gleichung 2a wird durch das Zusatzglied $D$ den körperlichen Dimensionen der Magnete M und M′ Rechnung getragen. In unserem Fall haben wir es mit zylindrischen Hohlmagneten zu tun: äußerer Radius sei $r_a$ bzw. $r'_a$, innerer Radius $r_i$ bzw. $r'_i$. $D$ hat dann die Form:

$$D = -\tfrac{3}{4}\,\{2\,(r_a^2 + r_i^2) - 3\,(r_a'^2 + r_i'^2)\}.^{1)}$$

$e$ ist oben definiert als Abstand der magnetischen Mittelpunkte von Magnet und Nadel. Da die Lage derselben unbekannt ist, werden sie dadurch eliminiert, daß man dieselbe Ablenkung zweimal, durch zwei verschiedene, zur Nadel symmetrisch liegende Lagen des Magneten, hervorbringt. Der Abstand irgend einer Marke am Magneten, etwa im geometrischen Mittelpunkt, zwischen Stellung 1 und 2 ist auch gleich dem Abstand des unbekannten magnetischen Mittelpunktes zwischen Stellung 1 und 2; aber wenn derselbe in beiden Stellungen nicht genau symmetrisch zu dem ebenfalls unbekannten magnetischen Mittelpunkt der Nadel liegt, so werden sich die beiden Einstellungen der Nadel etwas unterscheiden; es sei

$v_1$ die Einstellung der Nadel bei Magnet Ost Nordende Ost
$v_2$ „ „ „ „ „ Magnet West Nordende Ost;

ist nun $v_1$ verschieden von $v_2$, so ist auch $\frac{1}{2}\,(v_1 + v_2)$ nicht ganz gleich derjenigen Einstellung, welche bei einer Entfernung beider Magnetmittelpunkte stattfindet, die genau gleich dem halben Markenabstand ist. Ganz Analoges gilt für die beiden anderen Stellungen:

$v_3$ Magnet West Nordende West
$v_4$ Magnet Ost Nordende West.

Wir können aber die auftretenden Differenzen $\Delta\varphi_1 = v_1 - v_2$ und $\Delta\varphi_2 = v_3 - v_4$ dazu benützen, um an dem beobachteten Ablenkungswinkel $\varphi = \frac{1}{4}\,(v_1 + v_2 - v_3 - v_4)$ eine Korrektion anzubringen und denjenigen korrigierten Winkel „korr. $\varphi$" abzuleiten, den wir erhalten würden, wenn der Abstand der beiden Magnetmittelpunkte in den beiden Stellungen genau gleich und gleich dem halben Markenabstand wäre. Diese Korrektion wegen Ungleichheit der Entfernungen hat nach LAMONT S. 31 die Form:

$$\text{korr. } \varphi = \varphi - \tfrac{1}{2}\,(\Delta\varphi_1^2 + \Delta\varphi_2^2)\,(\tfrac{1}{3}\,\mathrm{tg}\,\varphi + \tfrac{1}{6}\,\mathrm{ctg}\,\varphi).$$

---

1) BÖRGEN, „Über den Einfluß der körperlichen Dimensionen eines Magnets" etc., Archiv der Seewarte 1895 Nr. 5.

Die Vorteile der LAMONTschen Ablenkungsweise liegen in zwei Richtungen: einmal bringt in der obigen sogenannten 1. LAMONTschen Hauptlage ein Magnet $M$ bei gegebenem $e$ den größtmöglichen Ablenkungswinkel $\varphi$ hervor, wodurch ein kleiner Fehler $\Delta\varphi$ den geringsten Schaden anrichtet, und außerdem ist die Form der Ablenkungsfunktion $F$ besonders günstig. Sie ist nämlich so gut wie konstant und unabhängig von $\varphi$, wodurch sich die Methode besonders zu relativen Messungen eignet, bei welchen dann $F$ ganz herausfällt. Bei absoluten Messungen gestalten sich die Berechnungen mit einem von $\varphi$ unabhängen $F$ wesentlich einfacher; endlich ist dabei die Form von $F$ insofern noch günstig, als in den Untergliedern Differenzen auftreten, so daß es durch geeignete Wahl von Magnet und Nadel möglich ist, einzelne Glieder ganz zum Verschwinden zu bringen.

Die Rolle des abgelenkten Magneten scheint mit der Beobachtung seiner Ruhelage so gut wie ausgespielt zu sein. Aber abgesehen davon, daß die Nadel in gleicher Weise an dem Aufbau der Funktion $F$ beteiligt ist, wie der Magnet, hat sie in praktischer Hinsicht noch eine wichtige Bedeutung, insofern nämlich die Stabilität der Einstellung von ihrem Moment abhängt.

Die Stabilität der Einstellung ist gekennzeichnet durch die Größe derjenigen Kraft, welche die um einen kleinen Winkel $dw$ aus ihrer Einstellung entfernte Nadel in dieselbe zurückzudrehen sucht. Bezeichnet man in Gleichung 1 den Winkel $\varphi$ im Falle der Ruhelage mit $\varphi_0$, so ist die Stabilität der Einstellung bestimmt durch

$$\frac{d}{dw}\left(MM'\frac{\sin\psi}{e^3} - M'H\sin\varphi\right)_{\substack{\psi=90\\ \varphi=\varphi_0}} = M'H\cos\varphi_0.$$

Also je größer und stärker der abgelenkte Magnet, desto sicherer die Einstellung. Dieser Gesichtspunkt sollte beim Bau von relativen Instrumenten für Reisezwecke mehr beachtet werden! (Siehe auch Seite 147).

**Beim Schwingungsversuch**

läßt man den Magneten $M$, den wir uns zunächst wieder torsionsfrei aufgehängt denken, in horizontaler Lage um eine vertikale Achse durch seinen Mittelpunkt frei schwingen, nachdem er um den kleinen Bogen $h$, d. h. praktisch nur um einige wenige Grade, aus seiner Ruhelage entfernt wurde.

Wenn wir der geringen Geschwindigkeiten wegen vom Widerstand absehen, schwingt der Magnet nach dem Gesetz der Differentialgleichung:

$$K_0\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -M_0H\sin\varphi$$

$K_0$ ist das normale Trägheitsmoment von $M_0$. Bezeichnet man die Zeit, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen durch die Ruhelage vergeht, bis also der Magnet von $\varphi = 0$ bis $\varphi = h$ und zurück nach $\varphi = 0$ gekommen ist, als die „Schwingungsdauer $T$", so ist

$$T_h = \pi\left(1 + \tfrac{1}{16}h^2 + \cdots\right)\sqrt{\frac{K_0}{M_0H}}. \tag{3}$$

Man sieht, daß $T_h$ in minimaler Weise von der Amplitude $h$ abhängt. Nennt man

$$T_0 = T_h(1 - \tfrac{1}{16}h^2 - \cdots) \tag{3a}$$

die auf unendlich kleinen Bogen reduzierte Schwingungsdauer, so ist

$$\boxed{M_0 H = K_0 \frac{\pi^2}{T_0^2}}. \tag{4}$$

Bei der Aufhängung kann es leicht vorkommen, daß der Magnet nicht ganz horizontal hängt; hat er eine kleine Neigung $\nu$, so wirkt die Horizontalintensität nur auf seine horizontale Komponente $M\cos\nu$; die Folge ist, daß wir eine etwas andere Schwingungsdauer $T_\nu$ erhalten, welche mit der „normalen" Schwingungsdauer $T_0$ in folgendem Zusammenhang steht:

$$T_0 = T_\nu(1 - \tfrac{1}{4}\nu^2). \tag{5}$$

**Die Kombination beider Versuche**

ergibt

$$\boxed{H = \frac{C_0}{T_0\sqrt{\sin\varphi_0}}}, \quad \text{wo} \quad \boxed{C_0 = \pi\sqrt{\frac{2FK_0}{e_0^3}}} \tag{6}$$

oder

$$\log H = \lg C_0 - \lg T_0 - \tfrac{1}{2}\log\sin\varphi_0.$$

Es ist nützlich, bei jeder $H$-Bestimmung sich auch vom Zustand des Magneten zu überzeugen und sein Moment aus den Beobachtungen zu berechnen. Die Kombination der beiden Fundamentalversuche ergibt als „normales" magnetisches Moment

$$M_0 = Q_0\frac{\sqrt{\sin\varphi_0}}{T_0}, \quad \text{wo} \quad Q_0 = \pi\sqrt{\frac{K_0 \cdot e_0^3}{2F}} \tag{7}$$

$$\log M_0 = \log Q_0 + \tfrac{1}{2}\log\sin\varphi_0 - \lg T_0.$$

## § 7. Einfluß der einzelnen Fehler auf die Sicherheit von H.

Es ist angenehm, bei Unstimmigkeiten einen Überblick über den Einfluß zu haben, welchen die Fehler der einzelnen Messungselemente auf die Sicherheit von $H$ ausüben. Es liegt außerhalb des Rahmens dieses Werks, auf all die Fehlerquellen einer wirklichen absoluten Messung einzugehen; wir beschränken uns auf die hauptsächlichsten Fehler derjenigen relativen Messung, bei welcher das unsicherste Element, das Moment $M$, eliminiert wird.

Wir haben es dabei

1. mit Fehlern der Beobachtung, $\Delta\varphi$ und $\Delta T$,
2. mit Fehlern in der Konstanz der Versuchsanordnung

zu tun. Unter den Fehlern 2. Art ist der wichtigste eine Unsicherheit in der Entfernung $e$, wie sie beim Ansetzen der Ablenkungsschienen, durch die Befestigung des Anschlags, endlich bei der Berührung zwischen Magnet und Anschlag zustande kommen kann. Eine kleine Änderung im Trägheitsmoment kann eintreten, wenn man gezwungen ist, in der Aufhängung von $M$ etwas zu ändern; einen etwaigen Fehler der Größe $F$, welche an sich schon mehr die Ordnung eines Korrektionsglieds

hat, berücksichtigen wir als höherer Ordnung nicht, dagegen wollen wir unter den Fehlern 2. Art noch den Fall des Schiefhängens des schwingenden Magneten in Betracht ziehen.

Der nun folgenden Fehlerübersicht in Formeln fügen wir die Zahlenwerte derjenigen Abweichung jedes Messungselements zu, welche einen Fehler von $\frac{\Delta H}{H} = 0{,}0001$ verursacht, also in gewöhnlichen, den Polen nicht allzunah liegenden Teilen der Erdoberfläche, einen Fehler von ca. 1—3 $\gamma$. Unter $\gamma$, als Feldgröße, verstehen wir künftig die Einheit der 5. Dezimale im C. G. S. System, also $1\gamma = 1 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{cm}^{-\frac{1}{2}}\,\mathrm{gr}^{\frac{1}{2}}\,\mathrm{sec}^{-1}$.

1. Beobachtungsfehler.

$\frac{\Delta H}{H} = -\frac{1}{2}\,\mathrm{ctg}\,\varphi\,\Delta\varphi$ Fehler des Ablenkungswinkels

$= -\frac{\Delta T}{T}$ Fehler der Schwingungsdauer.

2. Fehler in der Konstanz der Versuchsanordnung.

$\frac{\Delta H}{H} = -\frac{3}{2}\frac{\Delta e}{e}$ Fehler in der Entfernung des ablenkenden Magneten

$= +\frac{\Delta K}{2K}$ Fehler des Trägheitsmoments

$= -\frac{1}{4}\nu^2$ Fehler in der Horizontalität des Schwingungsmagneten.

Beim letzten Fehler ist angenommen, daß die magnetische und geometrische Achse des Schwingungsmagneten zusammenfallen; die kleine Abweichung $\nu$ derselben von der Horizontalen wirkt doppelt, indem einerseits das aktive magnetische Moment, andererseits das Trägheitsmoment verringert wird.

Ein Fehler von $\frac{\Delta H}{H} = 0.0001$ (ca. 1—3 $\gamma$) wird verursacht

| | | |
|---|---|---|
| durch einen Fehler | $\Delta\varphi = 0.1'$ | bei $\varphi = 10^0$ |
| | $= 0.25$ | $20^0$ |
| | $= 0.4$ | $30^0$ |
| | $= 0.6$ | $40^0$ |
| | $= 0.8$ | $50^0$ |
| durch einen Fehler | $\Delta T = 0.0001 \cdot n$ sec | bei $T = n$ sec |
| durch einen Fehler | $\Delta e = 0.016$ mm | bei $e = 24$ cm |
| | $= 0.021$ mm | 32 cm |
| | $= 0.023$ mm | 34 cm |
| durch einen Fehler | $\Delta K = 0.06$ grcm$^2$ | |
| durch eine Neigung | $\nu = 1^0 9'$. | |

Einem Fehler $\frac{\Delta H}{H} = 0.0001$ entspricht

| | | |
|---|---|---|
| ein Fehler in $\log H$ | von | $4.3 \cdot 10^{-5}$ |
| in $\log T$ | „ | $4.3 \cdot 10^{-5}$ |
| in $\log \sin\varphi$ | „ | $8.6 \cdot 10^{-5}$ |

## § 8. Einfluss der Temperatur.

Wegen des Wechsels der Temperatur sind die einzelnen Beobachtungen nicht mehr ohne weiteres miteinander vergleichbar. Den bei weitem größten Einfluß hat die Veränderlichkeit

des magnetischen Moments mit der Temperatur. $M_t$ bei der Temperatur $t$ hängt mit $M_o$ bei der Normaltemperatur $t_o$ folgendermaßen zusammen:

$$M_t = M_o \{1 - \mu(t - t_o) - \bar{\mu}(t - t_o)^2\}.$$

$\mu$ ist der Erfahrung gemäß fast immer eine positive Zahl, bei unsern Röhrenmagneten ebenso $\bar{\mu}$, so daß das magnetische Moment mit zunehmender Temperatur in immer rascherem Tempo abnimmt. Die Größenordnung von $\mu$ ist bei unsern Magneten $50 \cdot 10^{-5}$, diejenige von $\bar{\mu}$ $0.25 \cdot 10^{-5}$.

Beim Ablenkungsversuch macht sich außerdem, in etwa neunmal geringerem Maße, die Veränderlichkeit der messingnen Ablenkungsschiene mit der Temperatur geltend: es ist $e_t^3 = e_o^3 \{1 + 3\varepsilon(t - t_o)\}$, wo $\varepsilon = 1.9 \cdot 10^{-5}$ den Ausdehnungskoeffizienten von Messing bedeutet; beim Schwingungsversuch endlich in noch geringerem, in etwa zwanzigmal geringerem Maße die Veränderlichkeit des Trägheitsmoments mit der Temperatur: es kann nämlich $K_t = K_o \{1 + 2\sigma(t - t_o)\}$ gesetzt werden, wo $\sigma = 1.1 \cdot 10^{-5}$ den Ausdehnungskoeffizienten des Stahls bedeutet.

Haben wir also $\varphi$ bei der Temperatur $t_a$ beobachtet, müssen wir in Gleichung 2 die zugehörigen Werte von $M_{ta}$ und $e_{ta}$ einsetzen, um $H$ richtig zu ermitteln. Unter Verwendung obiger Gleichungen geht dann 2 über in

$$\frac{H}{M_o} = \frac{2F}{e_o^3} \frac{1}{\sin \varphi_{ta} \{1 + (\mu + 3\varepsilon)(t_a - t_o) + \bar{\mu}(t_a - t_o)^2\}}. \tag{8}$$

Setzen wir in dem zweiten, komplizierten Faktor statt des Nenners $\sin \varphi_o$, so ist $\varphi_o$ der auf die Normaltemperatur $t_o$ reduzierte Ablenkungswinkel, dessen Definition wir gleich in logarithmischer Form geben:

$$\log \sin \varphi_o = \log \sin \varphi_{ta} + \alpha'(t_a - t_o) + \beta'(t_a - t_o)^2 \tag{9a}$$

$$\text{wo } \alpha' = \text{Mod}(\mu + 3\varepsilon) \text{ und } \beta' = \text{Mod}\,\bar{\mu}. \tag{9b}$$

Gleichung 9a zeigt, wie man durch Beobachtung von $\varphi$ bei verschiedenen Temperaturen $t_a$ die Koeffizienten $\alpha'$ und $\beta'$ experimentell bestimmen kann.

Ganz analog finden wir für die Verhältnisse des Schwingungsversuchs, der bei der Temperatur $t_s$ angestellt sei,

$$H M_o = \pi^2 K_o \frac{1}{T_{ts}^2 \{1 - (\mu + 2\sigma)(t_s - t_o) - \bar{\mu}(t_s - t_o)^2\}}. \tag{10}$$

Die auf die Normaltemperatur $t_o$ reduzierte Schwingungsdauer $T_o$ ist also in logarithmischer Form definiert durch

$$\log T_o = \lg T_{ts} - \alpha''(t_s - t_o) - \beta''(t_s - t_o)^2 \tag{11a}$$

$$\text{wo } \alpha'' = \tfrac{1}{2}\text{Mod}(\mu + 2\sigma) \qquad \beta'' = \tfrac{1}{2}\text{Mod}\,\bar{\mu}. \tag{11b}$$

Durch Versuche bei verschiedenen $t_s$ können $\alpha''$ und $\beta''$ ermittelt werden.

Es ist nicht zweckmäßig, die bei den verschiedensten Temperaturen angestellten Versuche einer langen Reise auf ein und dieselbe Normaltemperatur zu reduzieren. Da die Unterschiede der Beobachtungstemperaturen von derselben $20^0$ leicht erreichen und übersteigen, können die

Fehler der Temperaturkoeffizienten unter Umständen in beträchtlich gesteigerter Weise in Erscheinung treten. Nun zeigt ein Vergleich der Gleichungen 8 und 10, daß das hauptsächliche, von $\mu$ herrührende Temperaturglied gerade mit dem entgegengesetzten Vorzeichen auftritt; es hebt sich also bei Kombination beider Gleichungen zur Ermittlung von $H$ heraus bis auf eine etwaige Differenz von $t_a$ und $t_s$. Dieser Unterschied ist meistens gering, da der Ablenkungs- und Schwingungsversuch möglichst unter den gleichen Bedingungen angestellt wird.

Es empfiehlt sich daher, $\varphi_{ta}$ und $T_{ts}$ zunächst auf die Mitteltemperatur $t = \frac{1}{2}(t_a + t_s)$ zu reduzieren, wodurch jene Fehler nur in verschwindendem Maße in Erscheinung treten. In der aus 8 und 10 kombinierten Gleichung

$$H = \frac{C_o\{1 - \frac{1}{2}(3\varepsilon - 2\sigma)(t - t_o)\}}{T_t\sqrt{\sin\varphi_t}}, \text{ wo } C_o = \pi\sqrt{\frac{2FK_o}{e_o^3}}, \tag{12}$$

tritt dann nur noch der sehr kleine Temperaturkoeffizient von $C_o$ auf, und diesen wollen wir zur Reduktion aller vorkommenden Beobachtungstemperaturen $t = \frac{1}{2}(t_a + t_s)$ auf ein und dieselbe Normaltemperatur $t_o$ verwenden. Wir setzen

$$C_t = C_o\{1 - \tfrac{1}{2}(3\varepsilon - 2\sigma)(t - t_o)\}$$

$$\text{oder } \log C_t = \log C_o - \alpha(t - t_o) \tag{13}$$

$$\text{wo } \alpha = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Mod}\,(3\varepsilon - 2\sigma). \tag{13a}$$

Aus Formel 13a geht hervor, daß der Temperaturkoeffizient der Konstanten $C$ sehr klein werden muß; für den wegen seiner Kleinheit höherer Ordnung nicht berücksichtigten Bestandteil desselben, welcher von $F$ herrührt, ist auf Seite 171 ein Vergleich seines theoretischen und empirischen Werts gegeben.

Die Kombination der beiden Gleichungen 8 und 10 zur Ermittlung von $M$ ergibt unter Vernachlässigung der quadratischen Glieder:

$$M_o = Q_o\frac{\sqrt{\sin\varphi_t}}{T_t}\{1 + (\mu + \sigma + \tfrac{3}{2}\varepsilon)(t - t_o)\}, \text{ wo } Q_o = \pi\sqrt{\frac{K_o e_o^3}{2F}}; \tag{14}$$

man sieht, daß der Temperaturkoeffizient der Konstanten $Q$ gegenüber demjenigen von $C$ ein erheblicher sein wird.

## § 9. Einfluss der Torsion.

Der Einfluß der Torsion ist unvermeidlich beim Schwingungsversuch, wo durch die Drehungen des Magneten die Torsionselastizität des Fadens, an welchem er aufgehängt ist, geweckt wird. Wir nehmen der Allgemeinheit an, der Faden sei von vornherein um einen Winkel $\alpha$ bezüglich des Meridians nach der positiven Seite (N. über O.) tordiert, und das Drehungsmoment einer Torsion um den Winkel 1 sei $\mathfrak{T}$. Dann lautet die Differentialgleichung der Magnetschwingungen mit den Bezeichungen von § 6:

$$K\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -MH\sin\varphi + (\alpha - \varphi)\mathfrak{T} \tag{15}$$

Man pflegt das „Torsionsverhältnis" ($\mathfrak{T}:MH$) aus der Ruhelage des Magneten bei der soeben definierten Aufhängung zu bestimmen; er bilde mit dem Meridian in dieser Ruhe-

lage den sehr kleinen Winkel $\Theta$; dann erhalten wir aus Gleichung (15) für $\frac{d^2\varphi}{dt^2}=0$ das Torsionsverhältnis $\gamma$

$$\gamma=\frac{\mathfrak{T}}{MH}=\frac{\Theta}{\alpha-\Theta}. \tag{16}$$

Unter normalen Verhältnissen ist der Magnet beim Schwingungsversuch an einem gut austordierten Faden aufgehängt, $\alpha=0$; dann wird die Schwingungsgleichung, wenn wir den verschwindend kleinen Fehler begehen, die kleine Größe $\gamma$ mit $\sin\varphi$, statt mit $\varphi$ zu multiplizieren ($\varphi$ nahe $=\sin\varphi$):

$$K\frac{d^2\varphi}{dt^2}=-MH(1+\gamma)\sin\varphi.$$

Die unter dem Einfluß der Torsion beobachtete Schwingungsdauer $T_\gamma$ ist demnach bei verschwindend kleinem Schwingungsbogen gegeben aus:

$$MH=K\frac{\pi^2}{T_\gamma^2(1+\gamma)};$$

also die gesuchte, normale Schwingungsdauer

$$T_0=T_\gamma\sqrt{1+\gamma}. \tag{17}$$

Namentlich bei Anwendung von Messingfäden, die ein großes, dafür allerdings genau definiertes $\gamma$ haben, kann es, etwa durch ein Versehen oder sonstwie, leicht vorkommen, daß die Messungen mit einem ungenügend austordierten Faden angestellt werden. Wir geben daher noch sowohl für den Schwingungsversuch als auch für den Ablenkungsversuch die Korrektion wegen ungenügend austordierten Fadens.

In beiden Fällen hat die unvollkommene Aufhängung zur Folge, daß die Ruhelage sowohl des Schwingungsmagneten $M$, als auch der Nadel $M'$, letzterer bei Abwesenheit des ablenkenden Magneten, vom Meridian abweicht; in beiden Fällen ist es dann, wie man leicht zeigen kann, als ob nicht das ganze $H$, sondern nur die Komponente von $H$ nach der eben genannten Ruhelage wirken würde. Sowohl die Schwingungsdauer, als auch der Ablenkungswinkel fällt daher etwas zu groß aus.

Ist $T_{\gamma'}$ die bei ungenügend austordiertem Faden beobachtete Schwingungsdauer, so können wir für die normale Schwingungsdauer aus Gleichung 15 ableiten:

$$T_0=T_{\gamma'}\sqrt{\cos\Theta+\gamma}. \tag{17'}$$

Ist nicht die Ruhelage des Magneten, welcher mit dem Meridian den Winkel $\Theta$ bildet, bekannt, sondern der Winkel $\alpha$, um welchen der Faden aus seiner torsionsfreien Stellung gedreht wurde, so substituiere man in (17') nach (16) $\Theta=\frac{\alpha\gamma}{1+\gamma}$, wodurch (17') übergeht in

$$T_0=T_{\gamma'}\sqrt{1+\gamma-\tfrac{1}{2}\alpha^2\gamma^2}. \tag{17''}$$

Beim Ablenkungsversuch verrät sich die ungenügende Austordierung dadurch, daß die Ruhelage $v_0$ der nicht abgelenkten Nadel von der Mittellage $m$ ihrer Ablenkungen ab-

weicht, oder aber falls $v_o$ nicht bekannt ist, daß die beiden Mittellagen $m_1$ und $m_2$, die sich aus den Ablenkungen zweier verschiedener Entfernungen ergeben, ungleich sind.

Ist $\varphi_{\mathfrak{x}}$ der durch die Torsion gestörte, beobachtete Ablenkungswinkel, so ergibt sich der gesuchte, normale Winkel $\varphi_o$ aus

$$\sin\varphi_o = \sin\varphi_{\mathfrak{x}}\left(1 - \frac{(v_o - m)^2}{8\sin^4\frac{1}{2}\varphi}\right), \tag{18}$$

oder wenn zwei verschiedene Ablenkungswinkel beobachtet sind,

$$\sin(\varphi_1)_o = \sin(\varphi_1)_{\mathfrak{x}}\left[1 - \frac{(m_2 - m_1)^2\cos^2\varphi_2}{8\sin^2\frac{1}{2}(\varphi_1+\varphi_2)\sin^2\frac{1}{2}(\varphi_1+\varphi_2)}\right] \tag{19a}$$

$$\sin(\varphi_2)_o = \sin(\varphi_2)_{\mathfrak{x}}\left[1 - \frac{(m_2 - m_1)^2\cos^2\varphi_1}{8\sin^2\frac{1}{2}(\varphi_1+\varphi_2)\sin^2\frac{1}{2}(\varphi_1+\varphi_2)}\right] \tag{19b}$$

Vgl. Terrestrial Magnetism 1904 pag. 161 und dazu die Literaturbemerkung Terr. Magn. 1905 pg. 51.

## § 10. Einfluss der Induktion.

Der Magnet $M$, welcher beim Ablenkungs- und Schwingungsversuch mit $H$ in Beziehung gesetzt wird, erleidet auch noch durch die Induktionswirkung von $H$ selber kleine Veränderungen, sodaß Messungen mit verschiedenen Stellungen von $M$ zum Meridian und Messungen bei verschiedenen $H$ nicht mehr streng miteinander vergleichbar sind.

Wir nehmen an, $M$ werde nur in seiner Längsrichtung induziert und das von $H$ beeinflußte $M_i$ ergebe sich aus dem normalen, stets induktionslosen $M_o$ nach der Formel

$$M_i = M_o(1 + i\cdot H\cos\chi),$$

wo $\chi$ der Winkel ist, den die magnetische Achse von $M$ mit dem Meridian bildet. Wir müssen diese Veränderlichkeit von $M$ aus den tatsächlich beobachteten, von $M_i$ herrührenden Werten $\varphi_i$ und $T_i$ herausbringen.

Die Ablenkungsformel lautet nach dem Obigen:

$$\frac{H}{M_o(1 - iH\sin\varphi)} = \frac{2F}{e_o^3}\frac{1}{\sin\varphi_i};$$

das normale $\varphi_o$ ergibt sich also aus:

$$\sin\varphi_o = \sin\varphi_i(1 + iH\sin\varphi).$$

Wir machen jedoch darauf aufmerksam, daß bei relativen Messungen von $H$ durch Ablenkungen der Einfluß der Induktion ganz herausfällt, da, wie man sieht, der Korrektionsfaktor $(1 + iH\sin\varphi)$ eine konstante Größe ist; etwaige kleine Momentänderungen können wegen der Kleinheit von $i$ vernachlässigt werden.

Die Schwingungsformel lautet analog

$$HM_o(1 + iH) = \pi^2\frac{K_o}{T_i^2};$$

also wird

$$T_o = T_i(1 + \tfrac{1}{2}i\cdot H).$$

Die Kombination ergibt $$H = \frac{C_o}{T_i\sqrt{\sin\varphi_i}}\left(1 - \tfrac{1}{2} i H (1 + \sin\varphi)\right), \tag{20}$$

wo $C_o$ durch Gleichung (6) definiert ist.

Es empfiehlt sich, nur bei streng absoluten Messungen (s. nächsten Paragraphen) die Instrumentalkonstante $C$ aus ihren einzelnen Bestandteilen nach Gleichung 6 zu ermitteln; bei relativen Messungen ist es bequemer und sicherer, dieselbe durch Beobachtung von $\varphi$ und $T$ auf einer Basisstation mit bekanntem $H$ abzuleiten. Wie Gleichung 20 zeigt, ist diese Konstante jedoch noch mit dem Einfluß der Induktion behaftet; wir nennen sie deshalb $C_i$ und haben

$$C_i = H T_i \sqrt{\sin\varphi_i} \tag{21a}$$

$$= C_o \{1 - \tfrac{1}{2} i H (1 + \sin\varphi)\} \tag{21b}$$

Bestimmt man das $H'$ eines anderen Ortes mittels dieser Konstanten $C_i$, d. h. vergleicht man das gesuchte $H'$ mit dem $H$ der Basisstation durch den kombinierten Ablenkungs- und Schwingungsversuch, so fällt der Einfluß der Induktion auf die Größe der Ablenkungswinkel ganz heraus, da hierbei $H \sin\varphi$ als konstant angesehen werden darf, und er bleibt nur noch in der einfachen Form und mit dem geringen Betrag der folgenden Gleichung wirksam:

$$H' = \frac{C_i}{T_i'\sqrt{\sin\varphi_i'}}\{1 + \tfrac{1}{2} i (H - H')\} \tag{22}$$

wo $T_i'$ und $\varphi_i'$ bei $H'$ beobachtet sind, und $C_i$ durch (21a) definiert ist.

Will man bei der Ermittlung des magnetischen Moments den Einfluß der Induktion eliminieren, so hat dies nach der Formel zu geschehen:

$$M_o = \pi \sqrt{\frac{K_0 e_0^3}{2F}} \frac{\sqrt{\sin\varphi_i}}{T_i}(1 + \tfrac{1}{2} i H \sin\varphi)\left(1 - \frac{i}{2} H\right). \tag{23}$$

Nach unserer obigen Bemerkung ist es zweckmäßig, den konstanten Faktor $(1 + \frac{1}{2} H \sin\varphi)$ nur einmal, etwa für die Basisstation, zu berechnen und dann für immer zu der Konstanten $Q_o$ zuzuschlagen, so daß als variabler Bestandteil der Induktionskorrektion nur noch der 2. Faktor: $(1 - \frac{1}{2} i H)$ bleibt.

* * *

Wir haben in den letzten vier Paragraphen eine ganze Reihe von Einflüssen kennen gelernt, deren Veränderlichkeit kleine Abweichungen der Konstanten $C$ und $Q$ und der Beobachtungsgrößen $\varphi$ und $T$ von ihren „Normalwerten" verursacht. Bisher haben wir diese Einflüsse alle getrennt für sich behandelt und für jeden eine entsprechende Korrektion abgeleitet. Im allgemeinen treten jedoch mehrere oder gar alle gleichzeitig auf; da es lauter kleine Größen sind, dürfen alle auftretenden Korrektionen in additiver Form zusammengefaßt werden.

## § 11. Absolute und relative Messungen.

Zum Begriff der „absoluten Messung" gehört

1. die genaue Prüfung der gesamten instrumentellen Anordnungen darauf hin, inwieweit die Voraussetzungen, auf welchen die Methode und die Anwendung der Formeln beruht, er-

füllt sind, sowie die Feststellung des Einflusses, den nicht ganz vollkommene Anordnungen auf das Resultat haben;

2. die absolute Bestimmung der Konstanten und Koeffizienten, welche zusammen mit den beobachteten Größen zur Berechnung der gesuchten Größe dienen, sowie die Ermittlung der Zuverlässigkeit von Konstanten und Koeffizienten.

Zu den Arbeiten 1. Art gehört z. B. die genaue Untersuchung der Justierung des Instruments, die Untersuchung, ob die magnetischen Mittelpunkte von Magnet und Nadel in einer Horizontalen liegen, die Untersuchung, ob die magnetische Achse des Magnets beim Ablenkungsversuch und Schwingungsversuch in gleicher Weise horizontal gelagert ist (Einfluß der Durchbiegung der Ablenkungsschienen), die Untersuchung, ob die magnetischen Achsen von Magnet und Nadel beim Ablenkungsversuch aufeinander senkrecht stehen u. a.

Zu den Arbeiten 2. Art gehört die absolute Messung der Entfernung von $M$ und $M'$ unter Elimination der magnetischen Mittelpunkte, sowie diejenige des Trägheitsmoments von $M$, ferner die Ermittlung des Wertes der Funktion $F$, endlich die Bestimmung der verschiedenen Koeffizienten (Temperatur, Induktion, Torsion).

Die wirkliche exakte Durchführung aller dieser Arbeiten, die eine streng absolute Messung ausmachen, ist eine sehr umfangreiche, zeitraubende und nicht leichte Aufgabe, die jedenfalls während einer Reise unmöglich erledigt werden kann. Die Durchführung ist aber für ein Reiseinstrument überhaupt nicht nötig; das Prinzip der Arbeitsteilung empfiehlt es vielmehr, die streng absoluten Messungen dem Betrieb eines Hauptobservatoriums zu überlassen und mit einem Reiseinstrument nur relative Messungen mit Elimination des magnetischen Moments anzustellen. Die Messungen sind insofern relativ, als die genannten Arbeiten 1. Art nur in erster Annäherung und nur qualitativ, die Arbeiten 2. Art, abgesehen von der Koeffizientenbestimmung, überhaupt nicht ausgeführt zu werden brauchen; es wird vielmehr, wie im vorhergehenden Paragraphen dargelegt, die Konstante $C_i$ von Gleichung (21a), in welcher $e$, $K$ und $F$ stecken, durch Beobachtung von $T$ und $\varphi$ bei gegebenem $H$ der Basisstation ermittelt. An jedem Ort werden außer der unsicheren Größe des magnetischen Moments $M$ die veränderlichen Elemente der Temperatur, Induktion und Torsion eliminiert.

Voraussetzung dieser relativen Messungen ist 1. die Konstanz des Instruments und damit der Größe $C$, 2. vollkommene Gleichartigkeit der Beobachtungen an jeder Station. Was die Voraussetzung 1 betrifft, so zeigt die Erfahrung, daß die Konstanz des Instruments auch unter sehr schwierigen Verhältnissen erhalten bleiben kann. So haben z. B. unserem Instrument die vielen Landungen, schwierige Transporte in Süd-Afrika und auf Inseln, ja selbst mehrwöchige Schlittenreisen über rauhes Packeis, wo die Schlitten viele dutzend Male umgeworfen wurden, nicht im mindesten geschadet.

Es ist zweckmäßig, einen prinzipiellen Unterschied zwischen absoluten und relativen Instrumenten schon beim Bau des Instruments und bei der Wahl der Magnete zu machen.

Der Bau des relativen Instruments kann viel einfacher gehalten werden, als derjenige des absoluten Instruments; alle Teile des relativen Instruments sind nicht mit Rücksicht auf die quantitative Auswertung ihres Einflusses auf das Resultat, sondern nur mit Rücksicht auf ihre

Konstanz zu konstruieren; das relative Instrument soll so konstant wie möglich bleiben und so bequem wie möglich zu handhaben sein.

Insbesondere aber fällt die vorteilhafteste Wahl der Magnete nach Größe und Form für beide Zwecke verschieden aus. Bei den absoluten Instrumenten pflegt man, um die Bestimmung des Wertes $F$ von Gleichung (2a) zu erleichtern, das Verhältnis der Längsdimensionen von Magnet und Nadel so zu wählen, daß das mit $e^{-4}$ multiplizierte Glied, die Querdimensionen so, daß das Glied $D$ verschwindet. Dadurch erhält man als Nadel einen verhältnismäßig kleinen und schwachen Magneten, und dieser ist für relative Instrumente, bei denen es auf die Ermittlung von $F$ gar nicht ankommt, in mehrfacher Hinsicht ungünstig: einmal leidet die Stabilität der Einstellung, ihre Schnelligkeit und Sicherheit, unter der Schwäche der Nadel; sodann kommt die schädliche Einwirkung der Torsion stärker zur Geltung. Da derselbe Magnet in der Regel auch für die Deklinationsmessungen benutzt wird, so machen dieselben Umstände auch bei diesen Messungen noch einmal denselben schädlichen Einfluß geltend. Es empfiehlt sich daher, für relative Instrumente einen möglichst kräftigen Magneten ohne Rücksicht auf den Wert der Funktion $F$ zu wählen; die obere Grenze für seine Dimensionen ergibt sich aus der Handlichkeit des Instruments.

Ein gewisser Nachteil des relativen Instruments kann sich bei Weltreisen dadurch einstellen, daß man durch Festlegung der Entfernungen nicht in der Lage ist, an jedem Ort auch den Ablenkungswinkel möglichst günstig, möglichst groß zu wählen. Dies tritt namentlich hervor, wenn ein Instrument auf ein und derselben Reise sowohl in den Tropen, als auch in Polargebieten verwendet werden muß. Diese Schwierigkeit kann auch nicht etwa durch Vermehrung der Anschläge überwunden werden; denn einmal kann deren Anzahl überhaupt nur eine sehr beschränkte sein; sodann ist der Sprung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Entfernungen, wo man entweder die innere oder die äußere Seite eines und desselben Anschlags benützt, immer ein beträchtlicher, so daß die günstige Entfernung leicht gerade dazwischen fällt. Dies wird für unser Instrument durch die nachstehende kleine Tabelle illustriert, welche erklärt, warum wir auf der Winterstation in der Antarktis einen verhältnismäßig ungünstigen, kleinen Ablenkungswinkel bekamen. Unser Hauptanschlag gab als Ablenkungswinkel

| mit der | inneren | äußeren | Seite |
|---|---|---|---|
| in Potsdam . . . . . | 46° | 16° | |
| St. Helena . . . . . | 35° | 13° | |
| Antarktis . . . . . | ∞ | 24° | |

## Abschnitt II. Die Anlage der Beobachtungen.

### § 12. Allgemeine Bemerkungen.

Während der erste Abschnitt der Theorie der Beobachtungen und Korrektionen galt, wollen wir in unserem Abschnitt über die technische Seite der Beobachtungen Rechenschaft ablegen. Um nicht allbekannte Dinge wiederholen zu müssen, können wir die Anlage

unserer Beobachtungen am einfachsten durch die ausführliche Wiedergabe eines vollen Beobachtungssatzes von Potsdam darlegen und unsere Bemerkungen an die Erläuterung des Beispiels von § 15 knüpfen. Wenn auf anderen Stationen wesentliche Unterschiede in der Anlage eingetreten sind, sind sie an Ort und Stelle bezeichnet und begründet.

Es ist ein großer Nachteil, daß der Beobachter bei der beschränkten Zeit eines Stationsaufenthaltes meist nicht in der Lage ist, die Beobachtungen auch gleich zu berechnen und so etwaige Fehler entdecken und verbessern zu können. Ein gewisses Mittel dazu, dies nachträglich tun zu können, bietet der Umfang der Beobachtungen: sind dieselben mit möglichst reicher Variation der Versuchsbedingungen angestellt, so besteht die Aussicht, daß ein etwa vorhandener Fehler in verschiedenem Maße zur Wirkung kommt, dadurch Unstimmigkeiten verursacht, deren Untersuchung dann auf die Entdeckung und Elimination des Fehlers führt (ein Beispiel dafür bietet der Einfluß der Torsion beim Ablenkungsversuch, siehe Kapstadt).

Ein voller Messungssatz enthält, wenn irgend möglich, alle Beobachtungen doppelt, einmal mit Magnet 22, das andere Mal mit Magnet 32. Innerhalb der Reihen eines Magneten sind wiederum alle Beobachtungen doppelt ausgeführt, einmal mit Bezeichnung oben, das andere Mal mit Bezeichnung unten („Bez. o.“ und „Bez. u.“). Außerdem sind die Ablenkungen grundsätzlich mit zwei verschiedenen Entfernungen, die Schwingungen meist doppelt ausgeführt worden, einmal vor, das andere Mal nach den Ablenkungen, um eine etwaige Änderung des magnetischen Moments während der Messung zu eliminieren. Im übrigen erhellt die Reihenfolge der Beobachtungen eines vollen Satzes aus den mitgeteilten Zeiten. Angestrebt wurde unmittelbarer Anschluß oder Einschluß von Ablenkungen und Schwingungen; es ist jedoch bei den schwierigen Verhältnissen eines fliegenden Observatoriums nicht immer möglich gewesen, das Prinzip einzuhalten.

## § 13. Bemerkungen zu den Ablenkungen.

Die Entfernungen waren durch zwei Anschläge gesichert, die vor der Ausreise auf jeder der beiden Ablenkungsschienen ein für allemal befestigt wurden; bei beiden diente die innere Seite als Anschlagfläche. Der innere Anschlag sollte die Hauptentfernung für die niedrigen und mittleren Breiten liefern, der äußere diejenige für die Polargebiete. Da jedoch das *H* unserer Winterstation verhältnismäßig groß war, so daß zwar der innere Anschlag einen unendlich großen, der äußere dagegen nur einen kleinen Ablenkungswinkel ergab, wurde auf der Winterstation noch eine weitere Entfernung eingeführt, welche durch die äußere Fläche des inneren Anschlags bestimmt ist; die letztere wurde auch auf einigen späteren Stationen benützt. So haben wir also drei Entfernungen im folgenden zu unterscheiden:

| Anschlagfläche | Entfernung | | | |
|---|---|---|---|---|
| innerer Anschlag innen | Bezeichnung | $e_1$ | Größe | 24.033 cm |
| innerer Anschlag außen | „ | $e_2$ | „ | 32.508 „ |
| äußerer Anschlag innen | „ | $e_3$ | „ | 34.030 „ |

Die prinzipielle Verwendung zweier Entfernungen an jedem Ort gibt einen willkommenen Einblick in die Konstanz der Entfernungen und der magnetischen Verteilung von Magnet und

Nadel; sie hat uns außerdem sehr wertvolle Dienste geleistet in der nachträglichen Beurteilung des Einflusses der Torsion. Unter dem Eindruck etwas irreführender Literaturangaben bei LAMONT, MAXWELL und MASCART, wonach die Torsion bei den Sinus-Ablenkungen ohne allen Einfluß auf das Resultat bleiben solle, hatte ich mich auf der Reise um dieselbe nicht viel gekümmert. Dies wurde einigemal verhängnisvoll, da als Aufhängefaden ein torsionskräftiger Metallfaden und als Nadel ein schwacher Magnet benützt wurde. Glücklicherweise bot der Unterschied der Mittellagen beider Entfernungen ein geeignetes Mittel, den Einfluß der Torsion nachträglich zu eliminieren. Um die Torsionsverhältnisse übersehen zu können, ist daher stets die Mittellage $m$ der Ablenkungen mitgeteilt.

Der Gang der Ablenkungsbeobachtungen und die Berechnung des Winkels geht in unmittelbar verständlicher Weise aus dem Beispiel von § 15 hervor, so daß wenige Worte zur Erläuterung dieser Tabellen genügen.

Die vier verschiedenen Stellungen von Magnet zu Nadel, welche einen Ablenkungswinkel ergeben, sind in bekannter Weise (§ 6) mit $v_1$ $v_2$ $v_3$ $v_4$ bezeichnet; durch die Form der Buchstaben sind die einzelnen Entfernungen unterschieden, und zwar gehört $v$ zu $e_1$, $V$ zu $e_2$, V zu $e_3$.

In jeder Magnetstellung sind mindestens zwei, vielfach vier Fadeneinstellungen vorgenommen. Das auf Seite 119 mitgeteilte Fadensystem erscheint doppelt im Gesichtsfeld des Fernrohrs, einmal als direktes, festes Bild und außerdem als gespiegeltes, bewegliches Bild. Stets wurde der mittlere Doppelfaden des festen Bildes bisezziert von einem der beiden äußeren beweglichen Fäden; also Reihenfolge: l. F., r. F. und vielfach zurück.

Die zu jeder Fadeneinstellung gehörende Kreisablesung gibt die vollen Grade nur von einem Mikroskop, während die Doppelminuten in beiden Mikroskopen abgelesen sind.

Was die Temperaturbestimmung betrifft, so wird die Stellung von Thermometer zu Magnet am besten durch Tafel I erläutert; beim Ablenkungsversuch kommt das Thermometer vollständig mit dem Magneten in Berührung, beim Schwingungsversuch befindet es sich in unmittelbarer Nähe.

Die Variationen von Potsdam sind bei jeder Fadeneinstellung durch einen zweiten Beobachter auf ein Lichtsignal hin beobachtet. Unter $n$ sind die Ablesungen des Deklinationsvariometers, unter $n'$ diejenigen des Bifilars angegeben; $\tau$ bedeutet die Temperatur des Bifilars.

In der Berechnung des Ablenkungswinkels sind zunächst die Kreismittel $v_1 \ldots v_4$ angegeben. Zwischen den zusammengehörigen Wertepaaren $v_1$ und $v_2$, bezw. $v_3$ und $v_4$, ist deren Differenz $\Delta\varphi_1$ bezw. $\Delta\varphi_2$ angemerkt, welche zur Korrektion wegen Ungleichheit der Entfernungen führen (§ 6); dieselbe ist unter $A \triangle \varphi^2$ in Einheiten der Hundertel-Minute unter $\varphi$ mitgeteilt. Da diese Korrektion verschwindend klein ist, haben wir sie auf den Feldstationen, wo keine Variationen zur Verfügung stehen, unterdrückt.

Danach sind die Mittelwerte zweier zusammengehöriger $v$ gebildet: $u_1 = \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$ und $u_2 = \frac{1}{2}(v_3 + v_4)$. Zu jedem $u$ ist der zugehörige mittlere Stand des Deklinationsvariometers mit der Minute als Einheit angegeben; die halbe Differenz dieser beiden Stände ist als Korrektion $\triangle\delta$ am Ablenkungswinkel anzubringen, wobei sich der Sinn aus der Bemerkung ergibt, daß Theodolit und Variometer gleichsinnig laufen.

Die halbe Differenz der $u$ gibt den Ablenkungswinkel, die halbe Summe die Mittellage $m$, die, reduziert auf $n = 160$, der Torsionsverhältnisse wegen mitgeteilt ist.

So ergibt sich der von dem Fehler wegen Ungleichheit der Entfernungen und wegen Schwankung der Deklination befreite Ablenkungswinkel „korr. $\varphi$"; dazu ist aus den $n'$-Beobachtungen der auf die Normaltemperatur $\tau = 21^0$ reduzierte mittlere Stand des Bifilars angegeben; die Reduktion ist nach den Angaben des Observatoriums Potsdam erfolgt.

## § 14. Bemerkungen zu den Schwingungen.

Zur Ermittlung der Schwingungsdauer ist die Zeit jedes dritten Fadendurchgangs durch die Mittellage der Skala notiert, und zwar in einer ersten Reihe vom 1.—61., in einer zweiten vom 101.—161. Durchgang, so daß jeder Satz 20 Werte der hundertfachen Schwingungsdauer ergibt; für die Feldstationen sind nur die letzteren mitgeteilt. Während eines Satzes in Potsdam ist der Stand $n'$ des Bifilars jede volle Minute abgelesen. Das Intervall von 100 Schwingungsdauern ist namentlich auf den Feldstationen nicht prinzipiell eingehalten; mehrfach wurden, wie aus den mitgeteilten Daten hervorgeht, nahe benachbarte Intervalle verwendet.

Am Schluß jeder Reihe ist die Temperatur und die Schwingungsweite, genannt 2h, abgelesen worden; da die letztere nur einige wenige Grade betrug, so ist die Korrektion auf unendlich kleinen Bogen immer nur eine verschwindend kleine Größe.

Bei Verwendung eines torsionskräftigen Metallfadens ist die Torsionsbestimmung von wesentlicher Bedeutung. Zu jeder Stellung des Torsionskopfes ist die Einstellung des Fernrohrfadens auf der Skala des Schwingungskastens angegeben; dieselbe ist vielfach aus den Umkehrpunkten der letzten kleinen Ausschläge ermittelt, um Zeit zu sparen. Um den in Graden angegebenen Winkel $\alpha$ des Torsionskopfes mit dem entsprechenden, an der willkürlichen Skala des Schwingungskastens gemessenen Torsionswinkel $\Theta$ des Magneten vergleichen zu können, ist der Skalenwert, der Winkelwert eines Skalenteils $p$, zu ermitteln.

Die Skala des Schwingungskastens hat 11 Hauptstriche 0, 1, 2 ... 10; jeder pars ist etwas ungeschickterweise in vier Teile geteilt. Die Ablesung der Stelle, wo der Fernrohrfaden die Skala durchschneidet, gibt als Hauptzahl den nächstkleineren Hauptstrich und daneben in kleiner Schrift die Nummer des nächstkleineren Viertelstrichs mit dem geschätzten Zehntel des Intervalles zwischen den beiden einschließenden Viertelstrichen. So bedeutet z. B. $4^{2.0}$ die Stellung: $4\frac{2.0}{4} = 4{,}5$.

Der Winkelwert eines von zwei Hauptstrichen eingeschlossenen pars ist abhängig von der Entfernung zwischen der festen Skala und dem mit dem Magnetgehänge beweglichen Spiegel. Wenn das Instrument stets in gleicher Weise nivelliert wird, ist diese Entfernung und damit der Skalenwert eine konstante Größe. Auf diese Entfernung konnte aber nur gerade noch mit ganz eingeschobenem Okular eingestellt werden, und auch diese Einstellung war namentlich bei ungünstiger Beleuchtung oft schlecht. Es wurde daher hier und da dadurch nachgeholfen, daß das Instrument ein klein wenig aus dem Niveau gebracht, und der Spiegel dadurch ein klein wenig der Skala genähert wurde. So kommt es, daß der Skalenwert, der bei jeder

Änderung neu bestimmt wurde, auf den verschiedenen Stationen innerhalb einiger Minuten schwankt.

Die eigentliche Bestimmung des Skalenwerts erfolgte mittels der Kreisteilung des Theodoliten. Zu einer beliebigen Fadeneinstellung auf der Skala wurde der zugehörige Stand der Theodolitmikroskope am Teilkreis abgelesen; danach wurde die Alhidade mit dem aufgesetzten Schwingungskasten mittels der Feinschraube gedreht, und das neue zusammengehörige Paar von Einstellungen abgelesen. Wäre nun bei dieser Drehung die Magnetstellung absolut unverändert geblieben, so hätte man ohne weiteres den Winkelwert eines $p$; aber durch Torsion wurde auch der Magnet eine Kleinigkeit mitgedreht, das abgelesene Intervall der Skala fällt also zu klein, der Skalenwert selber daher etwas zu groß aus. Die Korrektion ergibt sich leicht aus der obigen Torsionsbestimmung und ist aus dem Beispiel von § 15 zu ersehen.

## § 15. Ausführliche Wiedergabe eines vollen Beobachtungssatzes.

Potsdam. Absolutes Observatorium.

1904 Februar 13. Pfeiler 4.

Beobachter: Abs. Obs. Bidlingmaier
Var. Obs. Tilles

Nadel: Magnet 7, Bez. 0.

Zeit: im Abs. Obs. nach Chron. Porthouse
im Var. Obs. nach Chron. E. 281

Thermometer: 568.

Uhrvergleich: P. $9^h\ 31^m\ 0^s$
E. $9^h\ 34^m\ 57^s$

Mire: Kollimator Süd.

Bemerkung: Temperaturverhältnisse nicht gut; der Raum war Tags zuvor auf hoher Temperatur gewesen, und die Abkühlung war nicht langsam und stetig genug vorgenommen worden.

## Magnet 22.

### Ablenkungen.

Mire 162° 14.2 14.4.

| Entfernung und Bezeichnung | Zeit | Stellung | Faden | Kreis-Ablesung (Doppelminuten) | Temp. | Variationen n | Variationen n' | Berechnung | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | τ = 21.31 | | | |
| | $9^h a\ 44^m\ 8^s$ | $V_1$ | l | 176° 26.8 27.2 | 21.0 | 171.0 | 96.8 | 177° 5.85′ | | 2φ = 28° 1.56 |
| | 46 19 | | r | 177 8.7 9.0 | 21.05 | 171.0 | 96.2 | | | φ = 14 0.78 |
| | | | | | | | | Δφ = 2.55 | 177° 4.58 | Δδ = — 2 |
| | 48 42 | $V_2$ | r | 177 7.3 7.7 | 21.2 | 171.05 | 95.7 | 177 3.3 | n = 171.04 | A Δφ² = — 1 |
| $e_3$ Bez. 0 | 50 14 | | l | 176 25.6 26.0 | 21.25 | 171.1 | 95.2 | | | |
| | | | | | | | | | m = 162° 52.78 | |
| | 52 41 | $V_3$ | r | 149 9.8 10.0 | 21.4 | 171.1 | 95.1 | | n = 160 | |
| | 53 52 | | l | 148 28.0 28.3 | 21.4 | 171.0 | 95.1 | 149 8.05 | | |
| | | | | | | | | Δφ = 10.05 | 149° 3.02 | |
| | 55 58 | $V_4$ | l | 148 23.0 23.2 | 21.5 | 171.0 | 95.2 | | n = 171.0 | korr. φ = **14° 0.75′** |
| | 57 15 | | r | 149 4.8 5.0 | 21.5 | 170.9 | 95.4 | 148 58.00 | | $n'_{\tau=21}$ 96.00 |
| | | | | | t = 21.29 | | 95.59 | | | |

| Entfernung und Bezeichnung | Zeit | Stellung | Faden | Kreis-Ablesung (Doppelminuten) | Temp. | Variationen n | Variationen n′ | Berechnung | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | τ = 21.32 | | | |
| | 9ha 59m 30s | $V_4$ | l | 146° 19.7 19.9 | 21.55 | 170.8 | 95.4 | 146° 51.32′ | | 2φ = 32 11.90 |
| | 10 1 16 | | r | 147 1.45 1.6 | 21.55 | 170.8 | 95.3 | Δφ = 12.73 | 146° 57.68′ | φ = 16 5.95 |
| | | | | | | | | | n = 170.80 | Δδ = + 6 |
| | 3 8 | $V_3$ | l | 146 26.0 26.2 | 21.55 | 170.8 | 95.2 | 147 4.05 | | AΔφ² = — 2 |
| $e_2$ Bez. o | 4 16 | | r | 147 7.8 8.0 | 21.5 | 170.8 | 95.2 | | | |
| | | | | | | | | | m = 162° 52.89′ | |
| | 7 15 | $V_2$ | l | 178 28.0 28.3 | 21.6 | 170.8 | 94.8 | | n = 160 | |
| | 8 21 | | r | 179 9.8 10.1 | 21.65 | 170.8 | 94.8 | 179 8.1 | | |
| | | | | | | | | Δφ = 2.95 | 179 9.58 | |
| | 10 45 | $V_1$ | r | 179 11.3 11.5 | 21.6 | 170.6 | 95.0 | | n = 170.68 | korr.φ = 16° 5.99′ |
| | 11 52 | | l | 178 29.5 29.8 | 21.6 | 170.5 | 95.0 | 179 11.05 | | $n'_{\tau=21}$ 95.51 |
| | | | | | t = 21.58 | | 95.09 | | | |
| | | | | | | | τ = 21.33 | | | |
| | 10 14 51 | $V_1$ | r | 207 14.7 15.0 | 21.7 | 170.5 | 94.6 | 207 18.0 | | 2φ = 88 2.76 |
| | 16 15 | | l | 3.0 3.3 | 21.7 | 170.6 | 94.4 | Δφ = 14.3 | 207 10.85 | φ = 44 1.38 |
| | | | | | | | | | n = 170.64 | Δδ = — 4 |
| | 18 8 | $V_2$ | r | 207 7.7 8.0 | 21.65 | 170.7 | 94.2 | 207 3.7 | | AΔφ² = — 14 |
| $e_1$ Bez. o | 19 11 | | l | 206 25.7 26.0 | 21.65 | 170.75 | 94.15 | | | |
| | | | | | | | | | m = 162 58.88 | |
| | 22 54 | $V_3$ | r | 119 23.6 23.7 | 21.65 | 170.7 | 94.1 | | n = 160 | |
| | 24 52 | | l | 11.9 12.0 | 21.65 | 170.7 | 94.0 | 119 35.6 | | |
| | | | | | | | | Δφ = 95.02 | 119 8.09 | |
| | 27 19 | $V_4$ | r | 118 26.3 26.35 | 21.55 | 170.4 | 94.1 | | n = 170.55 | korr.φ = 44° 1.20′ |
| | 28 25 | | l | 14.25 14.25 | 21.55 | 170.4 | 94.1 | 118 40.58 | | $n'_{\tau=21}$ 94.64 |
| | | | | | t = 21.64 | | 94.21 | | | |
| | | | | | | | τ = 21.34 | | | |
| | 32 30 | $V_4$ | l | 118 14.8 14.8 | 21.6 | 170.5 | 94.0 | 118 41.52 | | 2φ = 88 3.56 |
| | 33 50 | | r | 26.8 26.8 | 21.6 | 170.6 | 94.0 | Δφ = 91.43 | 119 7.24 | φ = 44 1.78 |
| | | | | | | | | | n = 170.50 | Δδ = + 14 |
| | 35 50 | $V_3$ | l | 119 10.7 10.7 | 21.5 | 170.5 | 94.0 | 119 32.95 | | AΔφ² = — 12 |
| $e_1$ Bez. u | 37 19 | | r | 22.3 22.3 | 21.5 | 170.4 | 93.9 | | | |
| | | | | | | | | | m = 162 58.67 | |
| | 42 11 | $V_2$ | l | 206 25.6 25.6 | 21.6 | 170.3 | 93.7 | | n = 160 | |
| | 43 40 | | r | 207 7.6 7.6 | 21.65 | 170.2 | 93.5 | 207 2.8 | | |
| | | | | | | | | Δφ = 16.0 | 207 10.80 | |
| | 45 43 | $V_1$ | l | 207 3.6 3.6 | 21.55 | 170.2 | 93.4 | | n = 170.21 | korr.φ = 44° 1.80′ |
| | 46 56 | | r | 15.5 15.5 | 21.5 | 170.15 | 93.25 | 207 18.8 | | $n'_{\tau=21}$ 94.17 |
| | | | | | t = 21.56 | | 93.72 | | | |
| | | | | | | | τ = 21.35 | | | |
| | 49 45 | $V_1$ | l | 178 29.5 29.9 | 21.5 | 170.1 | 93.2 | 179 11.1 | | 2φ = 32 12.63 |
| | 51 0 | | r | 179 11.3 11.5 | 21.5 | 170.05 | 93.35 | Δφ = 3.65 | 179 9.28 | φ = 16 6.32 |
| | | | | | | | | | n = 170.04 | Δδ = — 13 |
| | 53 6 | $V_2$ | r | 179 9.5 9.8 | 21.4 | 170.0 | 93.5 | 179 7.45 | | AΔφ² = — 1 |
| $e_2$ Bez. u | 54 18 | | l | 178 27.6 28.0 | 21.35 | 170.0 | 93.8 | | | |
| | | | | | | | | | m = 162 53.06 | |
| | 56 51 | $V_3$ | r | 147 7.1 7.3 | 21.3 | 169.8 | 93.9 | | n = 160 | |
| | 57 56 | | l | 146 25.3 25.6 | 21.3 | 169.7 | 93.8 | 147 2.65 | | |
| | | | | | | | | Δφ = 12.00 | 146 56.65 | |
| | 59 51 | $V_4$ | l | 146 19.3 19.5 | 21.25 | 169.8 | 93.65 | | n = 169.78 | korr.φ = 16° 6.18′ |
| | 11 1 5 | | r | 147 1.2 1.3 | 21.2 | 169.8 | 93.8 | 146 50.65 | | $n'_{\tau=21}$ 94.08 |
| | | | | | t = 21.35 | | 93.62 | | | |

| Entfernung und Bezeichnung | Zeit | Stellung | Faden | Kreis-Ablesung (Doppelminuten) | Temp. | Variationen n | Variationen n' | Berechnung | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | τ = 21.35 | | | |
| | 11ha 2m 58s | $V_4$ | r | 149° 4.2 4.3 | 21.2 | 169.6 | 94.2 | 148° 56.55' | | 2φ = 28 1.58 |
| | 3 58 | | l | 148 22.2 22.4 | 21.1 | 169.4 | 94.3 | Δφ = 9.77 | 149° 1.44' | φ = 14 0.79 |
| | | | | | | | | | n = 169.35 | Δδ = + 12 |
| | 5 49 | $V_3$ | l | 148 27.05 27.3 | 21.0 | 169.2 | 94.2 | 149 6.32 | | A Δφ² = — 1 |
| $e_3$ | 6 48 | | r | 149 9.0 9.3 | 21.0 | 169.2 | 94.2 | | | |
| **Bez. u** | | | | | | | | | m = 162 53.00 | |
| | 8 52 | $V_2$ | r | 177 6.7 7.0 | 21.0 | 169.2 | 94.2 | | n = 160 | |
| | 9 55 | | l | 176 24.8 25.1 | 21.0 | 169.1 | 94.1 | 177 1.8 | | |
| | | | | | | | | Δφ = 2.45 | 177 3.02 | |
| | 11 51 | $V_1$ | r | 177 7.9 8.2 | 21.0 | 169.1 | 93.5 | | n = 169.12 | korr. φ = 14° 0.90' |
| | 12 48 | | l | 176 26.1 26.3 | 21.0 | 169.1 | 93.8 | 177 4.25 | | $n'_{\tau=21}$ 94.52 |
| | | | | | t = 21.04 | | 94.06 | | | |

Mire; 162° 14.3 14.6

## Schwingungen.

Chronometer Porthouse bleibt 3.0s in 24h zurück
Δs = + 3.0s

| Bez. o. Fadendurchgang 1.—61. | Bez. o. Fadendurchgang 101.—161. | Bez. o. Variationen | Bez. u. Fadendurchgang 1.—61. | Bez. u. Fadendurchgang 101.—161. | Bez. u. Variationen | Berechnung Zeit für 100 Schwingungen Bez. o. | Berechnung Zeit für 100 Schwingungen Bez. u. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11ha 32m 31.08 | 11ha 39m 26.98 | | 11ha 48m 9.68 | 11ha 55m 5.68 | | 6m 55.98 | 6m 56.08 |
| 43.3 | 39.3 | n' | 22.0 | 18.1 | n' | 56.0 | 56.1 |
| 55.8 | 51.9 | | 34.55 | 30.6 | | 56.1 | 56.05 |
| 33 8.3 | 40 4.3 | 94.8 | 47.0 | 43.1 | 94.8 | 56.0 | 56.1 |
| 20.8 | 16.9 | 95.0 | 59.6 | 55.5 | 94.7 | 56.1 | 55.9 |
| 33.1 | 29.2 | 95.1 | 49 11.9 | 56 8.0 | 94.5 | 56.1 | 56.1 |
| 45.9 | 41.9 | 95.2 | 24.55 | 20.5 | 94.4 | 56.0 | 55.95 |
| 58.2 | 54.1 | 94.9 | 37.0 | 33.0 | 94.5 | 55.9 | 56.0 |
| 34 10.7 | 41 6.7 | 94.9 | 49.4 | 45.5 | 95.0 | 56.0 | 56.1 |
| 23.1 | 19.1 | 94.6 | 50 1.9 | 57.9 | 95.0 | 56.0 | 56.0 |
| 35.7 | 31.7 | 94.7 | 14.35 | 57 10.4 | 95.0 | 56.0 | 56.05 |
| 48.1 | 44.1 | 94.7 | 26.9 | 22.8 | 94.4 | 56.0 | 55.9 |
| 35 0.8 | 56.6 | 94.85 | 39.5 | 35.5 | 94.9 | 55.8 | 56.0 |
| 13.1 | 42 9.0 | 94.85 | 51.85 | 47.8 | 94.9 | 55.9 | 55.95 |
| 25.7 | 21.7 | 94.87 | 51 4.4 | 58 0.4 | 94.9 | 56.0 | 56.0 |
| 38.0 | 34.0 | τ = 21.37 | 16.8 | 12.8 | 94.75 | 56.0 | 56.0 |
| 50.5 | 46.7 | | 29.3 | 25.4 | τ = 21.37 | 56.2 | 56.1 |
| 36 2.9 | 59.0 | | 41.9 | 37.8 | | 56.1 | 55.9 |
| 15.5 | 43 11.5 | n' = 95.35 | 54.25 | 50.3 | n' = 95.23 | 56.0 | 56.05 |
| 28.0 | 24.0 | τ = 21 | 52 6.9 | 59 2.7 | τ = 21 | 56.0 | 55.8 |
| | | | | | | Mittel: | |
| t 20.7° | 20.6 | | 20.65 | 20.5 | | 6m 56.0058 | 6m 56.00258 |
| 2 h 5½ p | 4½ | | 5½ | 4½ | | | |
| | | | | | | T = **4.1600**58 | T = **4.1600**258 |
| | | | | | | t = 20.65 | t = 20.58 |

Torsion:

| Zeit | Torsionskopf α | Fadeneinstellung Ausschläge | | Mittel θ |
|---|---|---|---|---|
| 0h 2m 0s | + 90° | 4'.9 | 4'.7 | 4.58 |
| 3 16 | — 90 | 7°.7 | 7°.9 | 7.58 |
| 4 36 | + 90 | 4'.7 | 4'.9 | 4.57 |
| 6 0 | — 90 | 7'.9 | 7'.5 | 7.55 |

**α = 180° entspricht θ = 2.99p**

Skalenwert:

| Zeit | Fadeneinstellung Ausschläge | | Mittel | Kreisablesung | | | Mittel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0h 7m 0s | 7'.9 | 7'.5 | 7.55 | 162° | 4.3 | 4.6 | 8.9 |
| 8m 7s | 5'.8 | 5'.5 | 5.54 | 161° | 1.8 | 2.0 | 3.8 |
| | | | 2.01 p | | = | | 65.1' |

$$1\,p = \frac{65.1}{2.01} - \frac{2.99}{180 \times 60}\left\{\frac{65.1}{2.01}\right\}^2 \text{ Bogenminuten}$$

**1 p = 32.10'**

## Magnet 32.

### Schwingungen

| Bez. o. Fadendurchgang 1.—61. | Bez. o. Fadendurchgang 101.—161. | Bez. o. Variationen | Bez. u. Fadendurchgang 1.—61. | Bez. u. Fadendurchgang 101.—161. | Bez. u. Variationen | Berechnung Zeit für 100 Schwingungen Bez. o. | Berechnung Zeit für 100 Schwingungen Bez. u. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1hp 2m 35.65s | 9m 23.2s | | 1hp 18m 25.05s | 25m 12.5s | | 6m 47.55s | 6m 47.45s |
| 47.9 | 35.45 | n' | 37.2 | 24.7 | n' | 47.55 | 47.5 |
| 3 0.2 | 47.8 | | 49.5 | 37.0 | | 47.6 | 47.5 |
| 12.4 | 59.0 | 92.6 | 19 1.7 | 49.15 | 92.2 | 47.2 | 47.45 |
| 24.65 | 10 12.1 | 92.4 | 13.95 | 26 1.3 | 92.2 | 47.45 | 47.35 |
| 36.85 | 24.2 | 92.05 | 26.1 | 13.5 | 92.15 | 47.35 | 47.4 |
| 49.10 | 36.4 | 92.15 | 38.3 | 25.9 | 92.2 | 47.3 | 47.6 |
| 4 1.4 | 48.4 | 91.8 | 50.7 | 38.0 | 92.4 | 47.4 | 47.3 |
| 13.65 | 11 1.0 | 91.6 | 20 2.9 | 50.3 | 92.3 | 47.35 | 47.4 |
| 25.8 | 13.15 | 92.0 | 15.0 | 27 2.5 | 92.5 | 47.35 | 47.5 |
| 38.0 | 25.4 | 92.0 | 27.35 | 14.8 | 92.6 | 47.4 | 47.45 |
| 50.3 | 37.7 | 91.8 | 39.5 | 27.0 | 92.8 | 47.4 | 47.5 |
| 5 2.4 | 49.9 | 91.8 | 51.8 | 39.2 | 92.4 | 47.5 | 47.4 |
| 14.8 | 12 2.0 | 92.1 | 21 3.9 | 51.4 | 92.25 | 47.2 | 47.5 |
| 26.9 | 14.25 | 92.03 | 16.2 | 28 3.7 | 92.5 | 47.35 | 47.5 |
| 39.1 | 26.5 | τ = 21.32 | 28.5 | 15.9 | 92.38 | 47.4 | 47.4 |
| 51.3 | 38.8 | | 40.7 | 28.1 | τ = 21.32 | 47.5 | 47.4 |
| 6 3.7 | 50.9 | | 52.9 | 40.25 | | 47.2 | 47.35 |
| 15.8 | 13 3.15 | n' = 92.45 | 22 5.1 | 52.4 | n' = 92.80 | 47.35 | 47.3 |
| 28.0 | 15.35 | τ = 21 | 17.4 | 29 4.75 | τ = 21 | 47.35 | 47.35 |
| | | | | | | Mittel: | |
| t 19.8° | 19.8 | | 20.1 | 20.05 | | 6m 47.38$_{75}$s | 6m 47.43s |
| 2 h 5½ p | 5 | | 5¼ | 4¾ | | | |
| | | | | | | **T = 4.0738$_{75}$s** | **T = 4.0743$_{08}$s** |
| | | | | | | t = 19.8 | t = 20.08 |

Torsion:

| Zeit | Torsions-kopf α | Fadeneinstellung Ausschläge | | θ Mittel |
|---|---|---|---|---|
| $1^h p$ $32^m$ $10^s$ | + 90 | $4^{1.7}$ | $4^{3.0}$ | 4.585 |
| 34 15 | — 90 | $7^{1.1}$ | $7^{2.5}$ | 7.45 |
| 36 10 | + 90 | $4^{1.7}$ | $4^{2.8}$ | 4.56 |
| 37 30 | — 90 | $7^{1.2}$ | $7^{2.3}$ | 7.44 |

**α = 180° entspricht θ = 2.87p**

Mire: 162° 14.2 14.5.

## Ablenkungen.

| Entfernung und Bezeichnung | Zeit | Stellung | Faden | Kreis-Ablesung (Doppelminuten) | | | Temp. | Variationen n | Variationen n' | Berechnung | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | τ = 21.33 | | | |
| | $1^h p$ $48^m$ $46^s$ | $V_1$ | r | 177° | 25.6 | 25.9 | 20.1 | 166.05 | 95.4 | 177° 39.65′ | | 2φ = 29 13.46 |
| | 50 5 | | l | | 13.8 | 14.0 | 20.1 | 165.9 | 95.4 | Δφ = 3.97 | 177° 37.66′ n = 165.96 | φ = 14 36.73 |
| | | | | | | | | | | | | Δδ = + 14 |
| | 51 43 | $V_2$ | l | 177 | 11.7 | 12.0 | 20.0 | 165.9 | 95.7 | 177 35.68 | | A Δφ² = — 1 |
| $e_3$ Bez. 0 | 52 42 | | r | | 23.65 | 24.0 | 20.0 | 166.0 | 95.5 | | | |
| | | | | | | | | | | | m = 162 54.83 n = 160 | |
| | 55 6 | $V_3$ | l | 148 | 8.15 | 8.35 | 20.0 | 166.1 | 95.55 | | | |
| | 56 6 | | r | | 19.95 | 20.15 | 20.0 | 166.2 | 95.6 | 148 28.3 | | |
| | | | | | | | | | | Δφ = 8.2 | 148 24.20 n = 166.25 | |
| | 58 9 | $V_4$ | r | 148 | 15.9 | 16.1 | 20.05 | 166.3 | 95.8 | | | korr. φ = **14° 36.86′** |
| | 59 12 | | l | | 4.0 | 4.2 | 20.05 | 166.4 | 95.7 | 148 20.1 | | $n'_{\tau=21}$ 96.01 |
| | | | | | | | t = 20.04 | | 95.58 | | | |
| | | | | | | | | | τ = 21.34 | | | |
| | 2 1 9 | $V_4$ | l | 145 | 28.2 | 28.5 | 20.0 | 166.4 | 95.8 | 146 8.55 | | 2φ = 33 35.92 |
| | 2 23 | | r | 146 | 10.1 | 10.3 | 20.0 | 166.55 | 95.6 | Δφ = 10.70 | 146 13.90 n = 166.59 | φ = 16 47.96 |
| | | | | | | | | | | | | Δδ = — 13 |
| | 4 19 | $V_3$ | l | 146 | 3.7 | 3.9 | 20.0 | 166.7 | 95.4 | 146 19.25 | | A Δφ² = — 1 |
| $e_2$ Bez. 0 | 5 23 | | r | | 15.3 | 15.6 | 20.0 | 166.7 | 95.3 | | | |
| | | | | | | | | | | | m = 162 55.14 n = 160 | |
| | 7 37 | $V_2$ | l | 179 | 17.5 | 17.8 | 20.0 | 166.8 | 95.5 | | | |
| | 8 48 | | r | | 29.4 | 29.7 | 20.0 | 166.8 | 94.9 | 179 47.2 | | |
| | | | | | | | | | | Δφ = 5.25 | 179 49.82 n = 166.85 | |
| | 10 50 | $V_1$ | l | 179 | 20.2 | 20.4 | 20.0 | 166.9 | 94.6 | | | korr. φ = **16° 47.82′** |
| | 11 57 | | r | 180 | 2.0 | 2.3 | 20.0 | 166.9 | 94.5 | 179 52.45 | | $n'_{\tau=21}$ 95.65 |
| | | | | | | | t = 20.00 | | 95.20 | | | |
| | | | | | | | | | τ = 21.35 | | | |
| | 14 25 | $v_1$ | l | 209 | 17.9 | 18.1 | 20.0 | 167.0 | 94.7 | 209 47.7 | | 2φ = 92 49.94 |
| | 15 29 | | r | | 29.6 | 29.8 | 20.0 | 167.0 | 94.4 | Δφ = 25.28 | 209 35.06 n = 167 | φ = 46 24.97 |
| | | | | | | | | | | | | Δδ = 0 |
| | 17 36 | $v_2$ | r | 209 | 17.0 | 17.4 | 20.0 | 167.0 | 95.1 | 209 22.42 | | A Δφ² = — 12 |
| $e_1$ Bez. 0 | 18 39 | | l | | 5.1 | 5.35 | 20.0 | 167.0 | 95.2 | | | |
| | | | | | | | | | | | m = 163 3.09 n = 160 | |
| | 21 20 | $v_3$ | r | 117 | 10.0 | 10.1 | 20.0 | 167.0 | 95.9 | | | |
| | 22 29 | | l | 116 | 28.4 | 28.6 | 20.0 | 167.0 | 96.05 | 117 8.55 | | |
| | | | | | | | | | | Δφ = 86.85 | 116 45.12 n = 167 | |
| | 24 37 | $v_4$ | r | 116 | 16.8 | 16.9 | 20.0 | 167.0 | 96.8 | | | korr. φ = **46° 24.85′** |
| | 25 45 | | l | | 4.8 | 4.9 | 20.0 | 167.0 | 96.8 | 116 21.7 | | $n'_{\tau=21}$ 96.08 |
| | | | | | | | t = 20.00 | | 95.62 | | | |

| Entfernung und Bezeichnung | Zeit | Stellung | Faden | Kreis-Ablesung (Doppelminuten) | Temp. | Variationen n | Variationen n' | Berechnung | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | τ = 21.36 | | | |
| | 2h p 29m 32s | $v_4$ | l | 116° 4.7 4.8 | 20.0 | 167.1 | 97.5 | 116° 21.4′ | | 2φ = 92 49.28 |
| | 30 38 | | r | 16.6 16.7 | 20.0 | 167.2 | 97.6 | Δ φ = 87.58 | 116° 45.19′ | φ = 46 24.64 |
| | | | | | | | | | n = 167.18 | Δ δ = — 2 |
| | 32 35 | $v_3$ | l | 116 28.55 28.7 | 20.0 | 167.2 | 97.6 | 117 8.98 | | A Δ φ² = — 12 |
| | 33 39 | | r | 117 10.35 10.35 | 20.0 | 167.2 | 97.6 | | | |
| $e_1$ | | | | | | | | | m = 163 2.63 | |
| Bez. u | 36 10 | $v_2$ | r | 209 17.05 17.3 | 20.0 | 167.2 | 98.2 | | n = 160 | |
| | 37 19 | | l | 5.1 5.4 | 20.0 | 167.2 | 98.0 | 209 22.42 | | |
| | | | | | | | | Δ φ = 24.10 | 209 34.47 | |
| | 39 38 | $v_1$ | l | 209 17.2 17.45 | 20.0 | 167.3 | 97.8 | | n = 167.22 | korr. φ = **46° 24.50′** |
| | 40 56 | | r | 29.0 29.4 | 20.0 | 167.2 | 97.2 | 209 46.52 | | $n'_{\tau=21}$ 98.16 |
| | | | | | t = 20.00 | | 97.69 | | | |
| | | | | | | | τ = 21.37 | | | |
| | 43 56 | $V_1$ | l | 179 20.2 20.4 | 20.0 | 167.2 | 97.0 | 179 52.48 | | 2φ = 33 35.22 |
| | 45 2 | | r | 180 2.05 2.3 | 20.0 | 167.2 | 96.9 | Δ φ = 5.03 | 179 49.96 | φ = 16 47.61 |
| | | | | | | | | | n = 167.19 | Δ δ = + 2 |
| | 46 43 | $V_2$ | r | 179 29.45 29.8 | 20.0 | 167.15 | 96.95 | 179 47.45 | | A Δ φ² = — 1 |
| | 47 58 | | l | 17.65 18.0 | 19.9 | 167.2 | 97.2 | | | |
| $e_2$ | | | | | | | | | m = 162 55.15 | |
| Bez. u | 50 13 | $V_3$ | r | 146 15.7 16.0 | 19.9 | 167.2 | 97.2 | | n = 160 | |
| | 51 20 | | l | 4.0 4.25 | 19.9 | 167.2 | 97.1 | 146 19.98 | | |
| | | | | | | | | Δ φ = 10.48 | 146 14.74 | |
| | 53 3 | $V_4$ | l | 145 28.7 29.0 | 19.9 | 167.2 | 97.0 | | n = 167.22 | korr. φ = **16° 47.62′** |
| | 54 3 | | r | 146 10.6 10.7 | 19.9 | 167.3 | 97.0 | 146 9.5 | | $n'_{\tau=21}$ 97.52 |
| | | | | | t = 19.94 | | 97.04 | | | |
| | | | | | | | τ = 21.38 | | | |
| | 56 0 | $V_4$ | r | 148 16.3 16.6 | 19.9 | 167.3 | 96.9 | 148 21.18 | | 2φ = 29 14.06 |
| | 57 10 | | l | 4.65 4.8 | 19.9 | 167.4 | 97.0 | Δ φ = 8.27 | 148 25.32 | φ = 14 37.03 |
| | | | | | | | | | n = 167.38 | Δ δ = — 8 |
| | 58 46 | $V_3$ | l | 148 8.7 9.0 | 19.8 | 167.4 | 97.2 | 148 29.45 | | A Δ φ² = — 1 |
| $e_3$ | 59 41 | | r | 20.5 20.7 | 19.8 | 167.4 | 97.2 | | | |
| Bez. u | | | | | | | | | m = 162 54.89 | |
| | 3 1 40 | $V_2$ | l | 177 12.6 12.9 | 19.8 | 167.4 | 97.2 | | n = 160 | |
| | 2 42 | | r | 24.5 24.8 | 19.8 | 167.6 | 97.7 | 177 37.4 | | |
| | | | | | | | | Δ φ = 3.95 | 177 39.38 | |
| | 4 20 | $V_1$ | r | 177 26.35 26.7 | 19.8 | 167.5 | 97.0 | | n = 167.55 | korr. φ = **14° 36.94′** |
| | 5 28 | | l | 14.65 15.0 | 19.8 | 167.7 | 96.9 | 177 41.35 | | $n'_{\tau=21}$ 97.64 |
| | | | | | t = 19.82 | | 97.14 | | | |

Mire: 162° 14.2 14.4

## Abschnitt III. Die Messungen in Potsdam vor und nach der Reise. Konstanten und Koeffizienten.

### § 16. Die Beobachtungen vor der Reise.

Der Reisetheodolit traf erst wenige Tage vor meiner Abreise nach Kiel zur Einschiffung aus den Tesdorpfschen Werkstätten in Potsdam ein, und es war mir im Drang jener Tage nicht mehr möglich, die Anschlußbestimmungen selbst auszuführen. Diese Aufgabe über-

nahm in dankenswerter Weise der damalige Observator der magnetischen Abteilung, Herr Dr. Lüdeling. Nach Beendigung einiger vorläufiger Untersuchungen des Instruments wurde am 3. August 1901 die Hauptanschlußmessung auf Pfeiler 3 des Variations-Observatoriums mit einem Magneten ausgeführt.

Um über die Temperatureigenschaften des Instruments auf alle Fälle wenigstens orientiert zu sein, wurde am 5. August 1901 noch eine Temperaturuntersuchung des Instruments innerhalb des damals verfügbaren Temperaturintervalls im Absoluten Observatorium vorgenommen. Zunächst wurde bei Zimmertemperatur eine volle Messung ausgeführt, darnach wurde der ganze Beobachtungsraum durch Gasöfen auf hohe Temperatur gebracht, und dieselben Messungen wiederholt. Zum Schluß wurde nach Abkühlung noch einmal bei normaler Zimmertemperatur beobachtet.

Die nachstehenden Tabellen geben die Beobachtungen des Herrn Dr. Lüdeling vom 3. und 5. August wieder. In Spalte 2 der Ablenkungen ist der wegen Ungleichheit der Entfernung und wegen Deklinationsschwankungen korrigierte Winkel $\varphi$ mitgeteilt. Spalte 4 gibt den zugehörigen Stand des Bifilars, bereits auf die Normaltemperatur $\tau = 20$ des Bifilars reduziert; daraus folgt in Spalte 5 nach den Angaben des Observatoriums in Einheiten der fünften Dezimale die Reduktion, welche $\log\sin\varphi$ auf denjenigen Wert bringt, der sich bei dem konstanten Normal-Stand des Bifilars $n' = 60$ ergeben hätte. In Spalte 8 sind die $\log\sin\varphi$ noch auf eine sehr naheliegende, den Schwingungen gemeinsame Temperatur reduziert. Dazu sind die in § 19 mitgeteilten Temperaturkoeffizienten benützt.

Die ersten Spalten der Schwingungen sind ohne weiteres verständlich. Spalte 5 gibt den halben Schwingungsbogen in Graden, Spalte 7 den Uhrgang des benutzten Chronometers. $\Delta s$ ist folgendermaßen definiert: $s_1$ sei die Standkorrektion des Chronometers bei dem täglichen Uhrvergleich, welcher der Schwingungsbeobachtung vorangeht, $s_2$ diejenige bei dem 24 Stunden später erfolgten Uhrvergleich; dann ist am Tage der Beobachtung $\Delta s = s_2 - s_1$; daraus folgt als Korrektion von $\log T$: $\frac{\text{Mod.}}{24 \cdot 60 \cdot 60} \Delta s = 0.503\, \Delta s \cdot 10^{-5}$, wo $\Delta s$ in sec. einzusetzen ist.

Die Korrektionen in den Spalten 4, 6, 8, 9 sind sämtlich in Einheiten der 5. Dezimale angegeben. In Spalte 12 sind die korrigierten und in Gruppen gemittelten $\log T$ auf die den Ablenkungen gemeinsamen Temperaturen von Spalte 13 reduziert. Die Temperaturkoeffizienten sind § 19 entnommen.

## Magnet 32.

### Beobachtungen am 3. August 1901.

Ablenkungen.

| Entf. | 1<br>Bez. | 2<br>$\varphi$ | 3<br>$\log\sin\varphi$ | 4<br>Variationen<br>n'<br>für $\tau = 20$ | 5<br>Red. auf<br>$n' = 60$ | 6<br>$\log\sin\varphi$<br>korrig. | 7<br>t | 8<br>$\log\sin\varphi$<br>red. auf 24° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | o | 46° 53 46′ | 9.86 336 | 63.54 | + 21 | 9.86 357 | 23.16 | 9.86 338 |
| $o_1$ | u | 45.17 | 237 | 73.69 | 83 | 320 | 24.60 | 333 |
| | o | 47.64 | 267 | 68.54 | 52 | 319 | 24.51 | 330 |
| | u | 46.23 | 250 | 74.10 | 85 | 335 | 23.94 | 334 |
| | | | | | | | Mittel | **9.86 334** ± 1.7 |

| Entf. | 1 Bez. | 2 φ | 3 log sin φ | 4 Variationen n′ für τ = 20 | 5 Variationen Red. auf n′ = 60 | 6 log sin φ korrig. | 7 t | 8 log sin φ red. auf 24° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $e_3$ | o | 14° 43.96′ | 9.40 536 | 63.17 | + 19 | 9.40 555 | 23.42 | 9.40 542 |
| | u | 41.74 | 430 | 75.97 | 97 | 527 | 24.50 | 538 |
| | o | 42.63 | 472 | 67.01 | 42 | 514 | 24.46 | 524 |
| | u | 42.18 | 451 | 73.87 | 84 | 535 | 23.92 | 533 |
| | | | | | | | Mittel | **9.40 534** ± 3.9 |

Schwingungen.

| 1 Bez. | 2 log T | 3 Variationen n′ für τ = 20 | 4 Variationen Red. auf n′ = 60 | 5 Unendl. kl. Bogen h° | 6 Unendl. kl. Bogen Korr. | 7 Uhrgang Δs sec. | 8 Uhrgang Korr. | 9 Torsion ½ log (1 + γ) | 10 log T korrig. | 11 t | 12 log T red. auf 24° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| o | 0.60 907 | 67.46 | + 23 | 1.4 | — 2 | + 2 | + 1 | + 172 | 0.61 101 | 24.15 | 0.61 099 |
| o | 906 | 68.97 | 27 | 1.5 | — 2 | | 1 | | 104 | 24.05 | 103 |
| u | 898 | 71.77 | 36 | 1.5 | — 2 | | 1 | | 105 | 24.00 | 105 |
| u | 888 | 72.57 | 38 | 1.5 | — 2 | | 1 | | 097 | 23.95 | 098 |
| | | | | | | | | | | Mittel | **0.61 101** ± 1.7 |

## Beobachtungen am 5. August 1901.

Ablenkungen.

| Entf. | 1 Bez. | 2 φ | 3 log sin φ | 4 Variationen n′ für τ = 20 | 5 Variationen Red. auf n′ = 60 | 6 log sin φ corrig. | 7 t | 8 mittlerer log sin φ red. | 9 auf t = |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $e_3$ | o | 14° 45.08′ | 9.40 590 | 62.68 | + 16 | 9.40 606 | 21.27 | 9.40 597 | 22° |
| | u | 45.27 | 599 | 62.85 | 17 | 616 | 21.43 | | |
| | u | 34.83 | 095 | 70.81 | 66 | 161 | 38.88 | 9.40 169 | 38 |
| | o | 34.22 | 066 | 70.27 | 62 | 128 | 38.78 | | |
| | o | 34.92 | 099 | 70.08 | 61 | 160 | 38.63 | | |
| | u | 34.79 | 093 | 70.44 | 63 | 156 | 38.48 | | |
| | o | 42.71 | 476 | 72.27 | 74 | 550 | 23.04 | 9.40 524 | 24 |
| | u | 42.53 | 467 | 72.23 | 74 | 541 | 23.00 | | |

Schwingungen.

| 1 Bez. | 2 log T | 3 Variationen n′ für τ = 20 | 4 Variationen Red. auf n′ = 60 | 5 Unendl. kl. Bogen h° | 6 Unendl. kl. Bogen Korr. | 7 Uhrgang Δs sec. | 8 Uhrgang Korr. | 9 Torsion ½ log (1 + γ) | 10 log T korrig. | 11 t | 12 mittl. log T red. auf | 13 t = |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| o | 0.60 877 | 62.46 | + 7 | 1.4 | — 2 | + 3 | + 2 | + 172 | 0.60 884 | 21.55 | 0.61 065 | 22° |
| u | 881 | 63.39 | 10 | 1.5 | — 2 | | 2 | | 891 | 21.50 | | |
| u | 0.61 067 | 66.27 | 19 | 1.5 | — 2 | | 2 | | 0.61 086 | 38.30 | 0.61 255 | 38 |
| u | 063 | 66.84 | 21 | 1.5 | — 2 | | 2 | | 084 | 38.10 | | |
| o | 065 | 68.22 | 25 | 1.5 | — 2 | | 2 | | 090 | 38.55 | | |
| o | 066 | 68.70 | 26 | 1.5 | — 2 | | 2 | | 092 | 38.90 | | |
| u | 0.60 888 | 72.74 | 39 | 1.4 | — 2 | | 2 | | 0.60 927 | 23.43 | 0.61 104 | 24 |
| o | 891 | 72.76 | 39 | 1.4 | — 2 | | 2 | | 930 | 23.80 | | |

## § 17. Die Konstanten $\log C$ vor der Reise.

Nach den Angaben des Observatoriums entsprach damals dem Stand $n' = 60$ des Bifilars ein $H = 0.18837$. Damit berechnen wir aus den Beobachtungen des letzten Paragraphen die $\log C$ für die daselbst angegebenen Temperaturen. Zur Reduktion auf die Normaltemperatur $t = 15$ verwenden wir die nach der Reise ermittelten Temperaturkoeffizienten von $\log C$ (§ 20).

### Konstanten vom 3. August 1901.

Die Bestimmung vom 3. August, die mit beiden Entfernungen unter völlig normalen Verhältnissen ausgeführt wurde, hat als Hauptbestimmung vor der Reise zu gelten. Um einen Einblick in ihre Sicherheit zu erhalten, leiten wir den mittleren Fehler von $\log C$ aus den beobachteten mittleren Fehlern von $\log \sin \varphi$ und $\log T$ ab, wobei wir Beobachtungen von Bez. o und Bez. $u$ als einander völlig gleichwertig behandeln.

| Entfernung | $e_1$ | $e_3$ |
|---|---|---|
| $\log T$ | 0.61 101 ± 1.7 | 0.61 101 ± 1.7 |
| $\frac{1}{2}\log \sin\varphi$ | 9.93 167 ± 0.8 | 9.70 267 ± 2.0 |
| $\log H$ | 9.27 500 | 9.27 500 |
| $\log C_{14}$ | 9.81 768 ± 1.9 | 9.58 768 ± 2.6 |
| $+\alpha(t-15)$ | + 8 | + 9 |
| $+\beta(t-15)^2$ | 0 | 0 |
| **$\log C_{15}$** | **9.81 776 ± 1.9** | **9.58 877 ± 2.6** |

### Konstante vom 5. August 1901.

Für eine Konstantenbestimmung ist die erste Temperaturuntersuchung eines Instruments nicht gerade günstig, zumal wenn so wenig Zeit zum Temperaturausgleich zur Verfügung stand wie am 5. August 1901. Dadurch daß es möglich war, die Temperaturuntersuchung nach der Reise in aller Ausführlichkeit vorzunehmen, können wir auf die Koeffizientenbestimmung vor der Reise verzichten; wir verwenden diese Messungen als Konstantenbestimmung, geben ihr aber aus obigen Gründen nur halbes Gewicht.

| $t$ | 22° | 38 | 24 |
|---|---|---|---|
| $\log T$ | 0.61 065 | 0.61 255 | 0.61 104 |
| $\frac{1}{2}\log \sin\varphi$ | 9.70 298 | 9.70 084 | 9.70 262 |
| $\log H$ | 9.27 500 | 9.27 500 | 9.27 500 |
| $\log C_t$ | 9.58 863 | 9.58 839 | 9.58 866 |
| $+\alpha(t-15)$ | + 7 | + 22 | + 9 |
| $+\beta(t-15)^2$ | 0 | + 1 | 0 |
| $\log C_{15}$ | 9.58 870 | 9.58 862 | 9.58 875 |

**mittl. $\log C_{15} = 9.58\,869 \pm 3.8$**

Demnach haben wir als die endgültigen

**Konstanten von Magnet 32 vor der Reise**

| Datum | $e_1$ | $e_3$ | Gewicht |
|---|---|---|---|
| 3. Aug. 1901 | 9.81 776 ± 1.9 | 9.58 877 ± 2.6 | 2 |
| 5. „ „ | | 9.58 869 ± 3.8 | 1 |
| $\log C_5$ | **9.81776 ± 1.9** | **9.58874 ± 3.0** | |

## § 18. Die Beobachtungen nach der Reise.

Von den sieben vollen Beobachtungssätzen, welche im Absoluten Observatorium nach der Reise ausgeführt wurden, ist in § 15 ein Beispiel in aller Ausführlichkeit wiedergegeben; die übrigen Sätze sind genau in derselben Weise beobachtet. Wir geben die Resultate in den folgenden Tabellen wieder, deren Spalten bereits in § 16 erläutert sind. Mitgeteilt ist außerdem noch bei den Ablenkungen der jedesmalige Wert der auf den Normalstand des Deklinationsvariometers reduzierten Mittellage und die aus der Verschiedenheit dieser Mittellagen resultierende Korrektion nach § 9. Die Reduktionen der beiden letzten Spalten je bei den Ablenkungen und Schwingungen bringen die zusammengehörenden Werte von $\log \sin \varphi$ und $\log T$ auf dieselbe Temperatur mittels der im nächsten Paragraphen abgeleiteten, annähernden Temperaturkoeffizienten; ganze Grade wurden gewählt, um das Ausgleichungsgeschäft von § 20 zu erleichtern.

### Magnet 22.

**Ablenkungen.**

Entfernung $e_1$

| Datum | Bez. | φ | log sin φ | Variationen n′ τ = 21 | Variationen Red. auf n′ = 90 | Torsion m n = 160 | Torsion Korr. | log sin φ korrig. | log sin φ t | mittl. log sin φ red. | mittl. log sin φ auf t = |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1904 | | | | | | | | | | | |
| Febr. 10 | o | 44° 9.29′ | 9.84299 | 87.80 | — 13 | 163° 1.61′ | — 1 | 9.84285 | 20.58 | 9.84272 | 21° |
| | u | 5.57 | 249 | 95.10 | 31 | 162 59.27 | | 84279 | 20.60 | | |
| 11 | o | 43 30.63 | 83781 | 92.42 | 14 | 163 0.17 | — 1 | 83794 | 37.39 | 83809 | 37 |
| | u | 30.55 | 789 | 91.35 | 8 | 1.03 | | 83796 | 37.50 | | |
| 12 | o | 30.91 | 794 | 95.44 | 32 | 6.53 | — 1 | 83825 | 35.66 | 83815 | 36 |
| | u | 31.64 | 803 | 95.36 | 31 | 5.74 | | 83833 | 35.42 | | |
| 13 | o | 44 1.20 | 84193 | 94.64 | 28 | 58.88 | — 1 | 84220 | 21.64 | 84236 | 21 |
| | u | 1.81 | 200 | 94.17 | 25 | 58.67 | | 84224 | 21.56 | | |
| 17 | o | 43.28 | 736 | 87.53 | — 15 | 9.45 | — 2 | 84719 | 2.76 | 84716 | 3 |
| | u | 41.17 | 709 | 93.34 | 20 | 9.29 | | 84727 | 2.40 | | |
| 18 | o | 22.50 | 469 | 93.23 | 19 | 10.88 | — 2 | 84486 | 3.62 | 84479 | 4 |
| | u | 21.69 | 459 | 93.40 | 20 | 10.14 | | 84477 | 4.09 | | |
| 19 | o | 1.05 | 191 | 94.43 | 26 | 9.92 | — 2 | 84215 | 19.66 | 84207 | 20 |
| | u | 43 59.89 | 176 | 96.48 | 39 | 9.97 | | 84213 | 19.72 | | |

## Entfernung $e_2$

| Datum | Bez. | φ | log sin φ | Variationen n′ τ = 21 | Variationen Red. auf n′ = 90 | Torsion m n = 160 | Torsion Korr. | log sin φ korrig. | log sin φ t | mittl. log sin φ red. | mittl. log sin φ auf t = |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Febr. 10 | o | 16° 7.87′ | 9.44379 | 89.51 | — 3 | 162° 55.57′ | 0 | 9.44376 | 20.99 | 9.44372 | 21° |
| | u | 7.31 | 355 | 94.39 | 26 | 55.26 | | 44381 | 20.55 | | |
| 11 | o | 15 56.66 | 43886 | 91.57 | 10 | 55.85 | 0 | 43896 | 37.71 | 43914 | 37 |
| | u | 56.66 | 886 | 91.49 | 9 | 55.99 | | 43895 | 37.51 | | |
| 12 | o | 57.05 | 903 | 95.36 | 32 | 163 0.42 | — 1 | 43934 | 35.55 | 43923 | 36 |
| | u | 57.21 | 910 | 94.98 | 30 | 0.09 | | 43939 | 35.49 | | |
| 13 | o | 16 5.99 | 44297 | 95.51 | 33 | 162 52.89 | — 1 | 44329 | 21.58 | 44340 | 21 |
| | u | 6.18 | 305 | 94.08 | 25 | 53.06 | | 44329 | 21.35 | | |
| 17 | o | 18.09 | 823 | 88.40 | — 10 | 163 1.24 | — 1 | 44812 | 2.72 | 44807 | 3 |
| | u | 17.84 | 812 | 91.38 | 8 | 1.35 | | 44819 | 2.36 | | |
| 18 | o | 12.11 | 564 | 93.07 | 19 | 2.15 | — 1 | 44582 | 3.79 | 44576 | 4 |
| | u | 11.88 | 554 | 93.67 | 22 | 2.24 | | 44575 | 3.91 | | |
| 19 | o | 6.06 | 300 | 92.58 | 16 | 2.22 | — 1 | 44315 | 19.76 | 44307 | 20 |
| | u | 5.53 | 276 | 95.86 | 35 | 2.06 | | 44310 | 19.73 | | |

## Entfernung $e_3$

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Febr. 10 | o | 14° 1.97′ | 9.38467 | 92.66 | 16 | 162° 55.28′ | 0 | 9.38483 | 20.94 | 9.38480 | 21° |
| | u | 1.80 | 459 | 94.55 | 28 | 55.09 | | 38487 | 20.64 | | |
| 11 | o | 13 52.45 | 37983 | 91.52 | 9 | 55.68 | 0 | 37992 | 37.62 | 38010 | 37 |
| | u | 52.39 | 980 | 92.13 | 13 | 55.63 | | 37993 | 37.52 | | |
| 12 | o | 52.96 | 38009 | 95.28 | 32 | 163 0.01 | — 1 | 38040 | 35.51 | 37027 | 36 |
| | u | 53.07 | 015 | 94.93 | 29 | 0.04 | | 38043 | 35.48 | | |
| 13 | o | 14 0.75 | 406 | 96.00 | 36 | 162 52.78 | — 1 | 38441 | 21.29 | 38444 | 21 |
| | u | 0.90 | 413 | 94.52 | 27 | 53.00 | | 38439 | 21.04 | | |
| 17 | o | 11.08 | 925 | 90.10 | 1 | 163 0.79 | — 1 | 38925 | 2.52 | 38917 | 3 |
| | u | 11.05 | 923 | 90.87 | 5 | 0.88 | | 38927 | 2.46 | | |
| 18 | o | 5.91 | 666 | 93.45 | 20 | 2.05 | — 1 | 38685 | 3.79 | 38681 | 4 |
| | u | 5.83 | 662 | 93.63 | 22 | 1.89 | | 38683 | 3.88 | | |
| 19 | o | 0.65 | 400 | 92.61 | 16 | 2.17 | — 1 | 38415 | 19.79 | 38409 | 20 |
| | u | 0.32 | 384 | 95.03 | 30 | 1.94 | | 38413 | 19.78 | | |

## Schwingungen.

| Datum | Bez. | log T | Torsion Skalenwert | Torsion ½ log (1 + γ) | Variationen n′ für τ = 21 | Variationen Red. auf n′ = 90 | Unendl. kl. Bogen h | Unendl. kl. Bogen Korr. | Uhrgang Δs | Uhrgang Korr. | log T red. | log T t | mittl. log T red. | mittl. log T auf t = |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Febr. 9 | o | 0.61897 | 31.51 | + 192 | 90.81 | 2 | 1.3° | — 2 | 2.0 | + 1 | 0.62090 | 20.85 | 0.62098 | 21° |
| | u | 61911 | | | 90.89 | 2 | 1.5 | — 2 | 2.0 | + 1 | 104 | 20.98 | | |
| 11 | o | 62110 | 32.50 | 198 | 91.69 | 5 | 1.3 | — 2 | 2.5 | + 1 | 62312 | 36.90 | 62314 | 37 |
| | u | 62115 | | | 91.84 | 6 | 1.4 | — 2 | 2.5 | + 1 | 318 | 37.25 | | |
| 12 | o | 62094 | 31.94 | 196 | 94.52 | 14 | 1.3 | — 2 | 2.8 | + 1 | 62303 | 35.72 | 62311 | 36 |
| | u | 62102 | | | 95.11 | 16 | 1.3 | — 2 | 2.8 | + 1 | 313 | 35.88 | | |
| 13 | o | 61910 | 32.10 | 195 | 95.35 | 16 | 1.5 | — 2 | 3.0 | + 2 | 62121 | 20.65 | 62125 | 21 |
| | u | 61910 | | | 95.23 | 16 | 1.5 | — 2 | 3.0 | + 2 | 121 | 20.58 | | |
| 17 | o | 61720 | 32.19 | 188 | 88.39 | — 5 | 1.6 | — 2 | 2.8 | + 1 | 61902 | 3.10 | 61897 | 3 |
| | u | 61722 | | | 84.65 | — 16 | 1.6 | — 2 | 2.8 | + 1 | 893 | 3.05 | | |
| 18 | o | 61809 | | 192 | 93.76 | 12 | 1.8 | — 3 | 2.6 | + 1 | 62011 | 4.22 | 62013 | 4 |
| | u | 61819 | | | 93.40 | 10 | 1.5 | — 2 | 2.6 | + 1 | 020 | 4.50 | | |
| 19 | o | 61935 | 31.81 | 193 | 91.89 | 6 | 1.5 | — 2 | 2.4 | + 1 | 62133 | 19.78 | 62133 | 20 |
| | u | 61933 | | | 91.33 | 4 | 1.5 | — 2 | 2.4 | + 1 | 129 | 19.90 | | |

# Magnet 32.

## Ablenkungen.

### Entfernung $e_1$

| Datum | Bez. | φ | log sin φ | Variationen n′ τ = 21 | Variationen Red. auf n′ = 90 | Torsion m n = 160 | Torsion Korr. | log sin φ korrig. | log sin φ t | mittl. log sin φ red. | mittl. log sin φ auf t = |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1904 | | | | | | | | | | | |
| Febr. 9 | o | 46° 30.92′ | 9.86067 | 84.59 | — 32 | 162° 58.13′ | — 1 | 9.86034 | 21.92 | 9.86033 | 22° |
| | u | 28.06 | 033 | 92.13 | + 13 | 57.06 | | 86045 | 21.42 | | |
| 11 | o | 45 50.64 | 85579 | 95.28 | 32 | 163 2.83 | — 1 | 85610 | 36.98 | 85616 | 37 |
| | u | 51.96 | 595 | 95.29 | 32 | 2.20 | | 85626 | 36.85 | | |
| 12 | o | 56.12 | 646 | 93.47 | 21 | 163 7.39 | — 1 | 85666 | 34.96 | 85672 | 35 |
| | u | 57.00 | 657 | 93.53 | 21 | 7.36 | | 85677 | 35.01 | | |
| 13 | o | 46 24.85 | 994 | 96.08 | 37 | 3.09 | — 1 | 86030 | 20.00 | 86035 | 20 |
| | u | 24.50 | 990 | 98.51 | 51 | 2.63 | | 86040 | 20.00 | | |
| 17 | o | 47 2.42 | 86441 | 90.65 | 4 | 8.79 | — 2 | 86443 | 3.20 | 86432 | 4 |
| | u | 2.90 | 447 | 89.85 | — 1 | 8.31 | | 86444 | 3.27 | | |
| 18 | o | 46 37.42 | 145 | 96.18 | + 37 | 13.08 | — 2 | 86180 | 4.78 | 86178 | 5 |
| | u | 37.26 | 143 | 95.65 | 34 | 12.79 | | 86175 | 5.21 | | |
| 19 | o | 17.37 | 85904 | 91.76 | 11 | 11.47 | — 2 | 85913 | 20.68 | 85929 | 20 |
| | u | 20.21 | 939 | 90.17 | 1 | 11.46 | | 85938 | 19.71 | | |

### Entfernung $e_2$

| Datum | Bez. | φ | log sin φ | Variationen n′ τ = 21 | Variationen Red. auf n′ = 90 | Torsion m n = 160 | Torsion Korr. | log sin φ korrig. | log sin φ t | mittl. log sin φ red. | mittl. log sin φ auf t = |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Febr. 9 | o | 16° 48.75′ | 9.46126 | 88.68 | — 8 | 162° 51.29′ | 0 | 9.46118 | 22.00 | 9.46120 | 22° |
| | u | 48.44 | 113 | 93.42 | + 20 | 51.77 | | 46133 | 21.46 | | |
| 11 | o | 37.94 | 45671 | 94.57 | 28 | 57.05 | 0 | 45699 | 36.87 | 45701 | 37 |
| | u | 38.07 | 677 | 95.06 | 31 | 56.93 | | 45708 | 36.91 | | |
| 12 | o | 39.70 | 745 | 93.10 | 19 | 163 0.37 | — 1 | 45763 | 34.72 | 45757 | 35 |
| | u | 39.49 | 737 | 93.20 | 19 | 0.12 | | 45755 | 35.15 | | |
| 13 | o | 47.82 | 46087 | 95.65 | 34 | 162 55.14 | — 1 | 46120 | 20.00 | 46121 | 20 |
| | u | 47.62 | 079 | 97.52 | 45 | 55.15 | | 46123 | 19.94 | | |
| 17 | o | 58.25 | 521 | 91.18 | 7 | 59.79 | — 1 | 46527 | 3.24 | 46512 | 4 |
| | u | 58.12 | 516 | 90.26 | 2 | 163 0.03 | | 46517 | 3.48 | | |
| 18 | o | 51.07 | 223 | 96.47 | 39 | 3.17 | — 1 | 46261 | 4.96 | 46262 | 5 |
| | u | 51.05 | 222 | 96.25 | 37 | 3.27 | | 46258 | 5.21 | | |
| 19 | o | 45.88 | 006 | 91.22 | 7 | 2.69 | — 1 | 46012 | 20.30 | 46016 | 20 |
| | u | 46.23 | 021 | 89.76 | — 1 | 2.46 | | 46019 | 19.78 | | |

### Entfernung $e_3$

| Datum | Bez. | φ | log sin φ | Variationen n′ τ = 21 | Variationen Red. auf n′ = 90 | Torsion m n = 160 | Torsion Korr. | log sin φ korrig. | log sin φ t | mittl. log sin φ red. | mittl. log sin φ auf t = |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Febr. 9 | o | 14° 37.26′ | 9.40213 | 93.49 | + 21 | 162° 51.61′ | 0 | 9.40234 | 21.74 | 9.40229 | 22° |
| | u | 37.47 | 223 | 92.88 | 17 | 51.59 | | 40240 | 21.52 | | |
| 11 | o | 28.74 | 39798 | 93.47 | 21 | 56.69 | 0 | 39819 | 36.68 | 39811 | 37 |
| | u | 28.52 | 787 | 94.99 | 30 | 56.76 | | 39817 | 36.80 | | |
| 12 | o | 30.19 | 869 | 92.66 | 16 | 163 0.40 | — 1 | 39884 | 34.54 | 39872 | 35 |
| | u | 29.77 | 849 | 93.07 | 19 | 162 59.91 | | 39867 | 35.20 | | |
| 13 | o | 36.86 | 40193 | 96.01 | 36 | 54.83 | — 1 | 40228 | 20.04 | 40232 | 20 |
| | u | 36.94 | 197 | 97.64 | 46 | 54.89 | | 40242 | 19.82 | | |
| 17 | o | 45.96 | 632 | 91.07 | 7 | 59.59 | — 1 | 40638 | 3.27 | 40630 | 4 |
| | u | 46.21 | 644 | 89.88 | — 1 | 59.69 | | 40642 | 3.55 | | |
| 18 | o | 39.81 | 337 | 96.75 | + 41 | 163 2.89 | — 1 | 40377 | 4.98 | 40377 | 5 |
| | u | 39.79 | 336 | 96.65 | 40 | 2.88 | | 40375 | 5.19 | | |
| 19 | o | 35.34 | 120 | 90.73 | 4 | 2.20 | — 1 | 40123 | 20.05 | 40127 | 20 |
| | u | 35.53 | 129 | 90.09 | 1 | 2.38 | | 40129 | 20.02 | | |

Schwingungen.

| Datum | Bez. | log T | Torsion Skalenwert | Torsion ½ log (1 + γ) | Variationen n′ für τ = 21 | Variationen Red. auf n′ = 90 | Unendl. kl. Bogen h | Unendl. kl. Bogen Korr. | Uhrgang △s | Uhrgang Korr. | log T red. | log T t | mittl. log T red. | mittl. log T auf t = |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Febr. 9 | o | 0.60995 | 31.51 | + 183 | 94.36 | 13 | 1.0° | — 1 | 2.0 | + 1 | 0.61191 | 21.50 | 0.61197 | 22° |
| | u | 61000 | | | 94.35 | 13 | 1.3 | — 2 | | + 1 | 195 | 21.70 | | |
| 11 | o | 61193 | 32.50 | 192 | 92.60 | 8 | 1.4 | — 2 | 2.5 | + 1 | 61392 | 37.00 | 61389 | 37 |
| | u | 61184 | | | 93.66 | 11 | 1.4 | — 2 | | + 1 | 386 | 37.05 | | |
| 12 | o | 61165 | 31.94 | 187 | 92.71 | 8 | 1.3 | — 2 | 2.8 | + 1 | 61359 | 34.90 | 61361 | 35 |
| | u | 61173 | | | 92.70 | 8 | 1.4 | — 2 | | + 1 | 367 | 35.40 | | |
| 13 | o | 61001 | 32.10 | 187 | 92.45 | 7 | 1.5 | — 2 | 3.0 | + 2 | 61195 | 19.80 | 61199 | 20 |
| | u | 61005 | | | 92.80 | 8 | 1.4 | — 2 | | + 2 | 200 | 20.08 | | |
| 17 | o | 60834 | 32.19 | 189 | 86.71 | — 10 | 1.5 | — 2 | 2.8 | + 1 | 61012 | 3.85 | 61013 | 4 |
| | u | 60834 | | | 86.59 | — 10 | 1.5 | — 2 | | + 1 | 012 | 4.00 | | |
| 18 | o | 60934 | 31.27 | 185 | 93.79 | 12 | 1.5 | — 2 | 2.6 | + 1 | 61130 | 4.55 | 61136 | 5 |
| | u | 60941 | | | 94.33 | 13 | 1.6 | — 2 | | + 1 | 138 | 4.58 | | |
| 19 | o | 61055 | | 185 | 90.60 | 2 | 1.6 | — 2 | 2.4 | + 1 | 61241 | 19.50 | 61244 | 20 |
| | u | 61056 | | | 90.02 | 0 | 1.5 | — 2 | | + 1 | 240 | 19.78 | | |

## § 19. Annähernde Temperaturkoeffizienten von log sin $\varphi$ und log $T$.

Nach den Darlegungen von § 8 eliminieren wir den Hauptbestandteil des Temperatureinflusses, welcher vom magnetischen Moment herrührt, indem wir log sin $\varphi$ und log $T$ auf ihre gemeinsame Mitteltemperatur reduziert kombinieren, während wir den übrigbleibenden geringen Rest von Temperatureinflüssen durch eine Korrektion von log $C$ zum Verschwinden bringen. Zur Reduktion auf jene Mitteltemperatur brauchen wir den annähernden Temperaturkoeffizienten von log sin $\varphi$ und log $T$, den wir nunmehr ableiten wollen. Zu diesem Zweck stellen wir nach den Beobachtungsdaten des letzten Paragraphen die Mittelwerte der drei verschiedenen Temperaturgruppen zusammen:

**Gang von log sin $\varphi$ und log $T$ mit der Temperatur.**

### Magnet 32.

Ablenkungen

| $e_1$ | | $e_2$ | | $e_3$ | | Schwingungen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| log sin φ | t | log sin φ | t | log sin φ | t | log T | t |
| 9.86310 | $4.1_2$ | 9.46391 | $4.2_2$ | 9.40508 | $4.2_5$ | 0.61073 | $4.2_4$ |
| 9.86000 | $20.6_2$ | 9.46088 | 20.58 | 9.40199 | $20.5_3$ | 0.61210 | $20.3_9$ |
| 9.85645 | $35.9_5$ | 9.45731 | 35.91 | 9.39847 | $35.8_0$ | 0.61376 | $36.0_9$ |

## Magnet 22.

Ablenkungen

| $e_1$ | | $e_2$ | | $e_3$ | | Schwingungen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| log sin φ | t | log sin φ | t | log sin φ | t | log T | t |
| 9.84602 | 3.2₂ | 9.44697 | 3.2₀ | 9.38805 | 3.16 | 0.61956 | 3.7₂ |
| 9.84239 | 20.6₃ | 9.44340 | 20.6₆ | 9.38446 | 20.58 | 0.62116 | 20.46 |
| 9.83812 | 36.4₉ | 9.43916 | 36.56 | 9.38017 | 36.5₃ | 0.62312 | 36.44 |

Es zeigt sich, daß die Abhängigkeit von der Temperatur nicht ganz linear ist, und daß wir für verschiedene Temperaturgebiete verschiedene Temperaturkoeffizienten benutzen müssen, die wir uns folgendermaßen verschaffen: Es lasse sich der Gang irgendeines Wertes $W$ mit der Temperatur in der Nähe von 0° darstellen durch die Form:

$$W_1 = W_0 + \alpha t_1 + \beta t_1^2,$$

dann haben wir für ein beliebiges Temperaturintervall $t_1 \,.\,.\, t_2$ den Zusammenhang:

$$W_2 = W_1 + (t_2 - t_1)\{\alpha + \beta(t_1 + t_2)\}.$$

$\alpha + \beta(t_1 + t_2)$ können wir demnach als den Temperaturkoeffizienten in der Nähe der Temperatur $\frac{1}{2}(t_1 + t_2)$ ansehen. Sind nun, wie in den obigen Temperaturgruppen, mindestens drei zusammengehörige Paare von $W$ und $t$ gegeben, so ergeben sich $\alpha$ und $\beta$ aus

$$\beta = \frac{1}{t_3 - t_1}\left(\frac{M_3 - M_2}{t_3 - t_2} - \frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1}\right) \qquad \alpha = \frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1} - \beta(t_1 + t_2).$$

Auf diese Weise sind $\alpha$ und $\beta$ gefunden, nämlich für

| | Magnet 32 | | Magnet 22 | |
|---|---|---|---|---|
| | Abl. | Schwing. | Abl. | Schwing. |
| α | − 15.04 | + 7.16 | − 16.1 | + 7.6 |
| β | − 0.147 | + 0.059 | − 0.189 | + 0.083 |

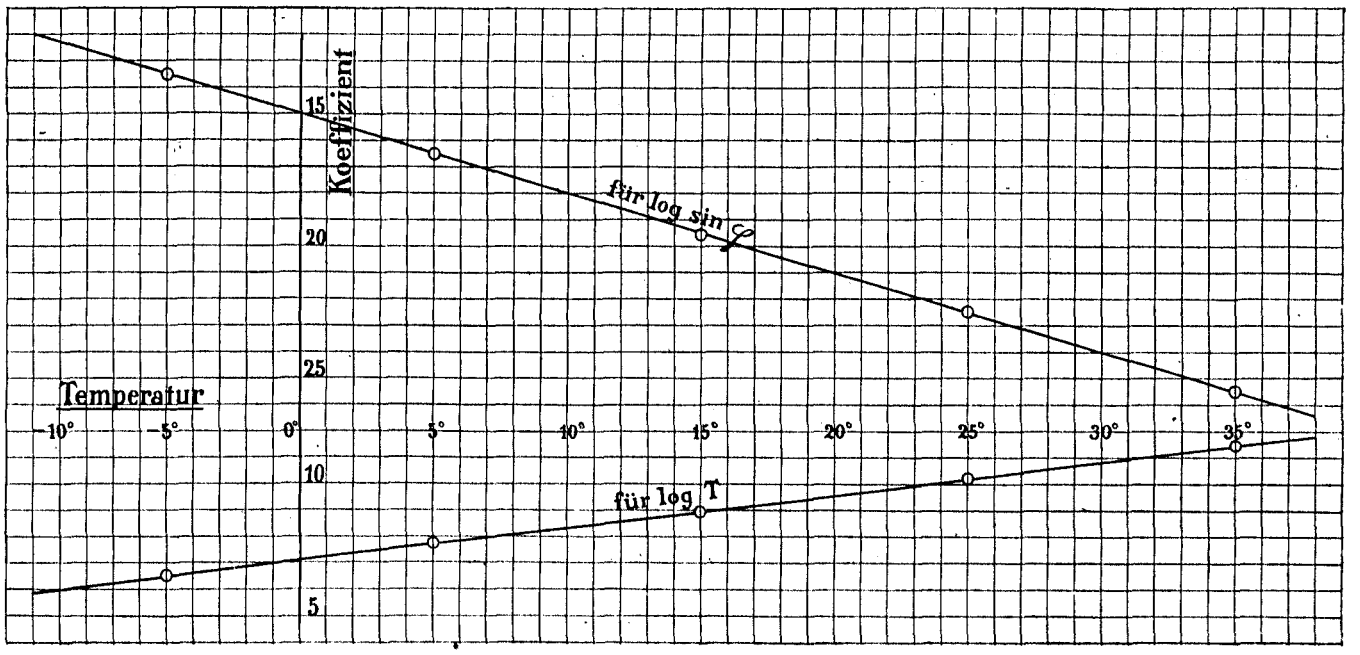
Mit Hilfe dieser Werte sind für die verschiedenen Temperaturgebiete ermittelt als annähernde

**Temperaturkoeffizienten von log sin φ und log *T***

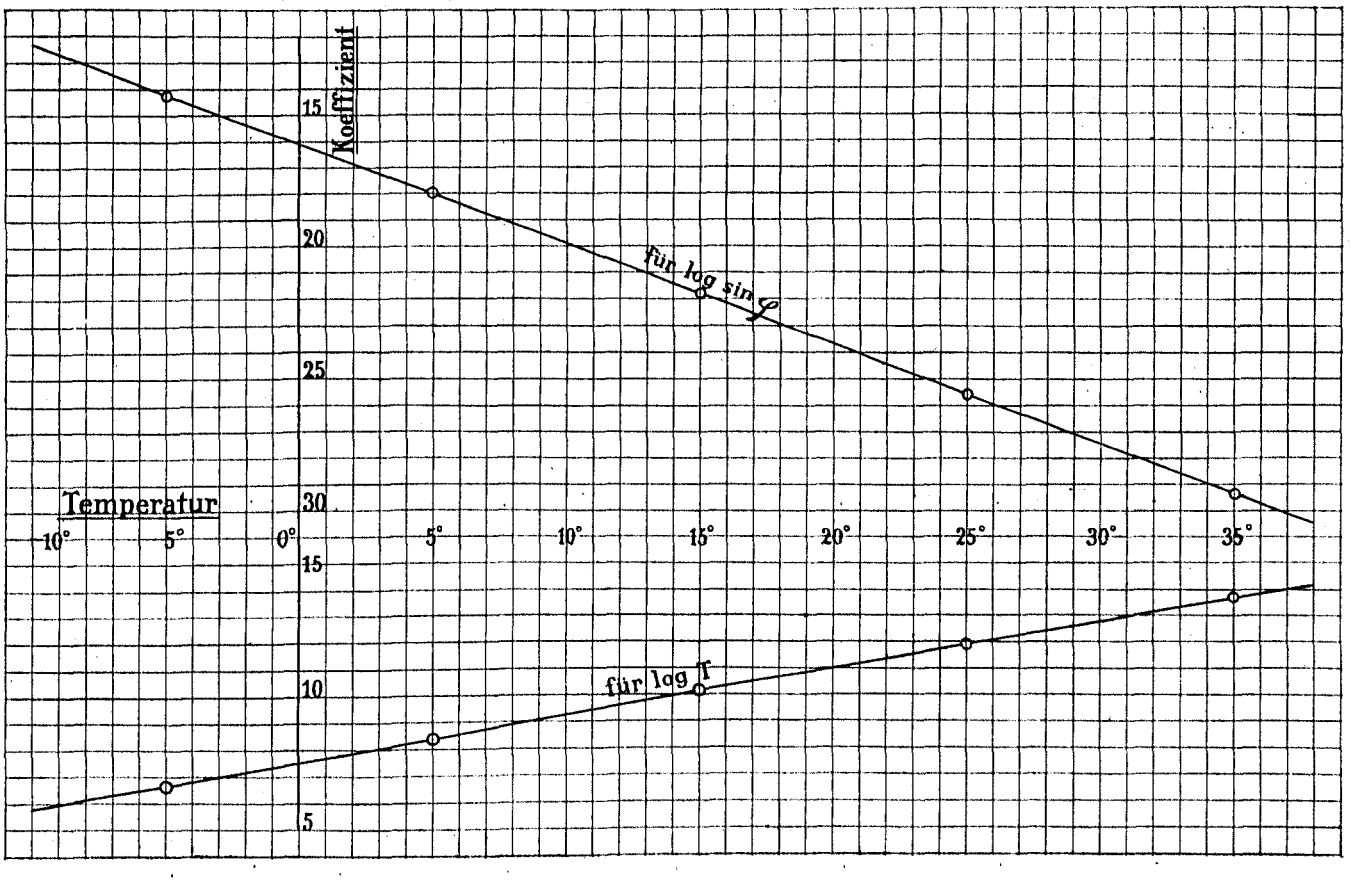
| in der Nähe von | Magnet 32 | | Magnet 22 | |
|---|---|---|---|---|
| | log sin φ | log T | log sin φ | log T |
| − 5° | − 13.57 | + 6.57 | − 14.2 | + 6.6 |
| + 5 | 16.51 | 7.75 | 18.0 | 8.4 |
| 15 | 19.46 | 8.93 | 21.8 | 10.1 |
| 25 | 22.39 | 10.12 | 25.55 | 11.7 |
| 35 | 25.44 | 11.29 | 29.35 | 13.4 |

Am bequemsten ist es, den Wert des Temperaturkoeffizienten aus folgenden Kurven zu entnehmen:

## Magnet 32.




## Magnet 22.



Wenn wir nunmehr die auf gleiche Mitteltemperatur gebrachten Werte $\log \sin\varphi$ und $\log T$ zur Bestimmung von $\log C$ kombinieren, so bleibt nur noch ein kleiner Temperaturgang in $\log C$ übrig, den wir zusammen mit dem $\log C$ einer Normaltemperatur im nächsten Paragraphen bestimmen. Die Formel 13a von § 8 zeigt, in welcher Weise dieser Temperaturgang durch die Veränderung der Ablenkungsschienen aus Messing und des Trägheitsmoments des stählernen Magneten mit der Temperatur verursacht ist.

## § 20. Die Konstanten $\log C$ und ihre Temperaturkoeffizienten nach der Reise.

Im folgenden sind die $\log C$ für die verschiedenen Temperaturen nach den letzten Spalten der Ablenkungen und Schwingungen von Tabelle § 18 zusammengestellt. Das $H$ für den Normalstand des Bifilars $n' = 90$ entstammt den Angaben des Observatoriums Potsdam.

**Zusammenstellung der Konstanten für die verschiedenen Temperaturen.**

$$\log C_t = \log H + \log T_t + \tfrac{1}{2} \log \sin \varphi_t$$

### Magnet 22.

Entfernung $e_1$

| Datum 1904 | Febr. 10 | 11 | 12 | 13 | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| log T | 0.62098 | 0.62314 | 0.62311 | 0.62125 | 0.61897 | 0.62013 | 0.62133 |
| $\log \sqrt{\sin\varphi}$ | 9.92136 | 9.91905 | 9.91908 | 9.92118 | 9.92358 | 9.92240 | 9.92104 |
| log H | 9.27558 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 |
| $\log C_t$ | 9.81792 | 9.81778 | 9.81778 | 9.81802 | 9.81814 | 9.81812 | 9.81796 |
| Temp. t | 21° | 37° | 36° | 21° | 3° | 4° | 20° |

Entfernung $e_2$

| Datum 1904 | Febr. 10 | 11 | 12 | 13 | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| log T | 0.62098 | 0.62314 | 0.62311 | 0.62125 | 0.61897 | 0.62013 | 0.62133 |
| $\log \sqrt{\sin\varphi}$ | 9.72186 | 9.71957 | 9.71962 | 9.72170 | 9.72404 | 9.72288 | 9.72154 |
| log H | 9.27558 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 |
| $\log C_t$ | 9.61842 | 9.61830 | 9.61832 | 9.61854 | 9.61860 | 9.61860 | 9.61846 |
| Temp. t | 21° | 37° | 36° | 21° | 3° | 4° | 20° |

Entfernung $e_3$

| Datum 1904 | Febr. 10 | 11 | 12 | 13 | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| log T | 0.62098 | 0.62314 | 0.62311 | 0.62125 | 0.61897 | 0.62013 | 0.62133 |
| $\log \sqrt{\sin\varphi}$ | 9.69240 | 9.69005 | 9.69014 | 9.69222 | 9.69458 | 9.69341 | 9.69205 |
| log H | 9.27558 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 |
| $\log C_t$ | 9.58896 | 9.58878 | 9.58884 | 9.58906 | 9.58914 | 9.58913 | 9.58897 |
| Temp. t | 21° | 37° | 36° | 21° | 3° | 4° | 20° |

## Magnet 32.

Entfernung $e_1$

| Datum 1904 | Febr. 9 | 11 | 12 | 13 | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| log T | 0.61197 | 0.61389 | 0.61361 | 0.61199 | 0.61013 | 0.61136 | 0.61244 |
| log $\sqrt{\sin \varphi}$ | 9.93017 | 9.92808 | 9.92836 | 9.93018 | 9.93216 | 9.93089 | 9.92965 |
| log H | 9.27558 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 |
| log Ct | 9.81772 | 9.81756 | 9.81756 | 9.81776 | 9.81708 | 9.81784 | 9.81768 |
| Temp. t | 22° | 37° | 35° | 20° | 4° | 5° | 20° |

Entfernung $e_2$

| Datum 1904 | Febr. 9 | 11 | 12 | 13 | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| log T | 0.61197 | 0.61389 | 0.61361 | 0.61199 | 0.61013 | 0.61136 | 0.61244 |
| log $\sqrt{\sin \varphi}$ | 9.73060 | 9.72851 | 9.72879 | 9.73061 | 9.73256 | 9.73131 | 9.73008 |
| log H | 9.27558 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 |
| log Ct | 9.61815 | 9.61799 | 9.61799 | 9.61819 | 9.61828 | 9.61826 | 9.61811 |
| Temp. t | 22° | 37° | 35° | 20° | 4° | 5° | 20° |

Entfernung $e_3$

| Datum 1904 | Febr. 9 | 11 | 12 | 13 | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| log T | 0.61197 | 0.61389 | 0.61361 | 0.61199 | 0.61013 | 0.61136 | 0.61244 |
| log $\sqrt{\sin \varphi}$ | 9.70114 | 9.69906 | 9.69936 | 9.70117 | 9.70315 | 9.70189 | 9.70064 |
| log H | 9.27558 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 | 9.27559 |
| log Ct | 9.58869 | 9.58854 | 9.58856 | 9.58875 | 9.58887 | 9.58884 | 9.58867 |
| Temp. t | 22° | 37° | 35° | 20° | 4° | 5° | 20° |

Aus diesen Reihen wurde mittels Ausgleichungsrechnung für jeden Magneten und jede Entfernung log$C$ für die Normaltemperatur $t = 15^0$, sowie ihr linearer und quadratischer Temperaturkoeffizient $\alpha$ bzw. $\beta$ bestimmt; $t = 15^0$ ist ungefähr das Mittel aller Messungstemperaturen des Reisetheodoliten auf den verschiedenen Hauptstationen.

### Bestimmung der Konstanten log C für t=15° und ihrer Temperaturkoeffizienten durch Ausgleichungsrechnung.

## Magnet 22.

Entfernung $e_1$

Unbekannte 1. $\log C_{15} = 9.81795 + x$
2. $\alpha = y$ linearer } Temperaturkoeffizient
3. $\beta = z$ quadratischer } von log C

Grundgleichung $x + 9.81795 - \log Ct + y\,(t-15) + z\,(t-15)^2 = 0$

Zusammenstellung der log $C_t$

| Fehlergleichungen | Nr. | Datum Febr. | Temperatur t | beobachtet | ausgeglichen | Differenz v |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $v_1 = x - 12y + 144z - 19$ | 1 | 17. | + 3° | 9.81814 | 9.81813 | − 1 |
| $v_2 = x - 11y + 121z - 17$ | 2 | 18. | 4 | 812 | 812 | 0 |
| $v_3 = x + 5y + 25z - 1$ | 3 | 19. | 20 | 796 | 797 | + 1 |
| $v_4 = x + 6y + 36z - 7$ | 4 | 13. | 21 | 802 | 797 | − 5 |
| $v_5 = x + 6y + 36z + 3$ | 5 | 10. | 21 | 792 | 797 | + 5 |
| $v_6 = x + 21y + 441z + 17$ | 6 | 12. | 36 | 778 | 779 | + 1 |
| $v_7 = x + 22y + 484z + 17$ | 7 | 11. | 37 | 778 | 778 | 0 |

**Resultat** $\log C_{15} =$ **9.81803 ± 2.0 × 10⁻⁵**
$\alpha =$ **− 0.948 ± 0.143**
$\beta =$ **− 0.0082 ± 0.010**

## Entfernung $e_2$

Unbekannte 1. $\log C_{15} = 9.61844 + x$
2. $\alpha = y$ linearer } Temperaturkoeffizient
3. $\beta = z$ quadratischer } von log C

Grundgleichung $x + 9.61844 - \log C_t + y\,(t-15) + z\,(t-15)^2 = 0$

Zusammenstellung der log $C_t$

| Fehlergleichungen | Nr. | Datum Febr. | Temperatur t | beobachtet | ausgeglichen | Differenz v |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $v_1 = x - 12y + 144z - 16$ | 1 | 17. | + 3° | 9.61860 | 9.61860 | 0 |
| $v_2 = x - 11y + 121z - 16$ | 2 | 18. | 4 | 860 | 859 | − 1 |
| $v_3 = x + 5y + 25z - 2$ | 3 | 19. | 20 | 846 | 849 | + 3 |
| $v_4 = x + 6y + 36z - 10$ | 4 | 13. | 21 | 854 | 848 | − 6 |
| $v_5 = x + 6y + 36z + 2$ | 5 | 10. | 21 | 842 | 848 | + 6 |
| $v_6 = x + 21y + 441z + 12$ | 6 | 12. | 36 | 832 | 831 | − 1 |
| $v_7 = x + 22y + 484z + 14$ | 7 | 11. | 37 | 830 | 830 | 0 |

**Resultat** $\log C_{15} =$ **9.61853 ± 2.5 × 10⁻⁵**
$\alpha =$ **− 0.741 ± 0.18**
$\beta =$ **− 0.0136 ± 0.013**

## Entfernung $e_3$

Unbekannte 1. $\log C_{15} = 9.58896 + x$
2. $\alpha = y$ linearer } Temperaturkoeffizient
3. $\beta = z$ quadratischer } von log C

Grundgleichung $x + 9.58896 - \log C_t + y\,(t-15) + z\,(t-15)^2 = 0$

Zusammenstellung der log Ct

| Fehlergleichungen | Nr. | Datum Febr. | Temperatur t | beobachtet | ausgeglichen | Differenz v |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $v_1 = x - 12y + 144z - 19$ | 1 | 17. | + 3° | 9.58915 | 9.58914 | — 1 |
| $v_2 = x - 11y + 121z - 17$ | 2 | 18. | 4 | 913 | 913 | 0 |
| $v_3 = x + 5y + 25z - 1$ | 3 | 19. | 20 | 897 | 901 | + 4 |
| $v_4 = x + 6y + 36z - 10$ | 4 | 13. | 21 | 906 | 900 | — 6 |
| $v_5 = x + 6y + 36z + 0$ | 5 | 10. | 21 | 896 | 900 | + 4 |
| $v_6 = x + 21y + 441z + 12$ | 6 | 12. | 36 | 884 | 882 | — 2 |
| $v_7 = x + 22y + 484z + 18$ | 7 | 11. | 37 | 878 | 880 | + 2 |

**Resultat log $C_{15}$ = 9.58905 ± 2.5 × $10^{-5}$**
**$\alpha$ = — 0.852 ± 0.19**
**$\beta$ = — 0.0133 ± 0.012**

## Magnet 32.

### Entfernung $e_1$

Unbekannte 1. log $C_{15}$ = 9.81770 + x
2. $\alpha$ = y linearer } Temperaturkoeffizient
3. $\beta$ = z quadratischer } von log C

Grundgleichung $x + 9.81770 - \log Ct + y\,(t-15) + z\,(t-15)^2 = 0$

Zusammenstellung der log Ct

| Fehlergleichungen | Nr. | Datum Febr. | Temperatur t | beobachtet | ausgeglichen | Differenz v |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $v_1 = x - 11y + 121z - 18$ | 1 | 17. | + 4° | 9.81788 | 9.81786 | — 2 |
| $v_2 = x - 10y + 100z - 14$ | 2 | 18. | 5 | 784 | 785 | + 1 |
| $v_3 = x + 5y + 25z - 6$ | 3 | 13. | 20 | 776 | 772 | — 4 |
| $v_4 = x + 5y + 25z + 2$ | 4 | 19. | 20 | 768 | 772 | + 4 |
| $v_5 = x + 7y + 49z - 2$ | 5 | 9. | 22 | 772 | 770 | — 2 |
| $v_6 = x + 20y + 400z + 14$ | 6 | 12. | 35 | 756 | 757 | + 1 |
| $v_7 = x + 22y + 484z + 14$ | 7 | 11. | 37 | 756 | 755 | — 1 |

**Resultat log $C_{15}$ = 9.81777 ± 1.7 × $10^{-5}$**
**$\alpha$ = — 0.879 ± 0.14**
**$\beta$ = — 0.0048 ± 0.009**

### Entfernung $e_2$

Unbekannte 1. log $C_{15}$ = 9.61813 + x
2. $\alpha$ = y linearer } Temperaturkoeffizient
3. $\beta$ = z quadratischer } von log C

Grundgleichung $x + 9.61813 - \log Ct + y\,(t-15) + z\,(t-15)^2 = 0$

Zusammenstellung der log Ct

| Fehlergleichungen | Nr. | Datum Febr. | Temperatur t | beobachtet | ausgeglichen | Differenz v |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $v_1 = x - 11y + 121z - 15$ | 1 | 17. | + 4° | 9.61828 | 9.61827 | − 1 |
| $v_2 = x - 10y + 100z - 13$ | 2 | 18. | 5 | 826 | 827 | + 1 |
| $v_3 = x + 5y + 25z - 6$ | 3 | 13. | 20 | 819 | 816 | − 3 |
| $v_4 = x + 5y + 25z + 2$ | 4 | 19. | 20 | 811 | 816 | + 5 |
| $v_5 = x + 7y + 49z - 2$ | 5 | 9. | 22 | 815 | 814 | − 1 |
| $v_6 = x + 20y + 400z + 14$ | 6 | 12. | 35 | 799 | 800 | + 1 |
| $v_7 = x + 22y + 484z + 14$ | 7 | 11. | 37 | 799 | 798 | − 1 |

**Resultat** $\log C_{15} = 9.61820 \pm 1.7 \times 10^{-5}$
$\alpha = -0.790 \pm 0.136$
$\beta = -0.0089 \pm 0.009$

## Entfernung $e_3$

Unbekannte
1. $\log C_{15} = 9.58875 + x$
2. $\alpha = y$ linearer } Temperaturkoeffizient
3. $\beta = z$ quadratischer } von log C

Grundgleichung $x + 9.58875 - \log C_t + y(t-15) + z(t-15)^2 = 0$

Zusammenstellung der log Ct

| Fehlergleichungen | Nr. | Datum Febr. | Temperatur t | beobachtet | ausgeglichen | Differenz v |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $v_1 = x - 11y + 121z - 12$ | 1 | 17. | + 4° | 9.58887 | 9.58887 | 0 |
| $v_2 = x - 10y + 100z - 9$ | 2 | 18. | 5 | 884 | 885 | + 1 |
| $v_3 = x + 5y + 25z \quad 0$ | 3 | 13. | 20 | 875 | 871 | − 4 |
| $v_4 = x + 5y + 25z + 8$ | 4 | 19. | 20 | 867 | 871 | + 4 |
| $v_5 = x + 7y + 49z + 5$ | 5 | 9. | 22 | 870 | 869 | − 1 |
| $v_6 = x + 20y + 400z + 19$ | 6 | 12. | 35 | 856 | 856 | 0 |
| $v_7 = x + 22y + 484z + 21$ | 7 | 11. | 37 | 854 | 854 | 0 |

**Resultat** $\log C_{15} = 9.58876 \pm 1.6 \times 10^{-5}$
$\alpha = -0.961 \pm 0.13$
$\beta = -0.0022 \pm 0.009$

Wir stellen die empirisch bestimmten, linearen Temperaturkoeffizienten von log $C$ zusammen, um zu sehen, wie weit dieselben mit dem theoretischen Wert der Formel 13a übereinstimmen.

**Linearer Temperaturkoeffizient von log $C$.**

| Entf. | Magnet 22 | Magnet 32 |
|---|---|---|
| $e_1$ | 0.948 | 0.897 |
| $e_2$ | 0.741 | 0.79 |
| $e_3$ | 0.852 | 0.96 |
| Mittel | 0.841 | 0.882 |

**Gesamtmittel 0.864 empirisch.**

Nach Formel 13a sollen alle diese Werte $= \frac{1}{2}\text{Mod}\ (3\varepsilon - 2\sigma)$ sein: $\varepsilon$ Ausdehnungskoeffizient des Messings, $\sigma$ derjenige des Stahls. Man sieht, daß die empirischen Werte, wie es die Formel verlangt, vom Magneten und von der Entfernung nahezu unabhängig sind. Nimmt man nun $\varepsilon = 1.9 \cdot 10^{-5}$, $\sigma = 1.1 \cdot 10^{-5}$, so ergibt sich derselbe Wert zu

**0.76 theoretisch.**

Der empirische und theoretische Wert des Temperaturkoeffizienten von $\log C$ sind also nahe übereinstimmend. Da nun der theoretische Wert unter der Voraussetzung abgeleitet ist, daß der Bestandteil $F$ von $\log C$ (Formel 2a) unabhängig sei von der Temperatur, so geht aus diesen Versuchen hervor, daß die Funktion $F$, welche von der magnetischen Verteilung und von der Entfernung von Magnet und Nadel abhängig ist, mit der Temperatur sich sehr wenig ändert.

Man kann den empirischen Wert $0.86_4$, in dem sehr viele Beobachtungen konzentriert sind, dazu benutzen, um aus seiner Differenz mit dem theoretischen Temperaturkoeffizienten 0.76 die Veränderlichkeit der Poldistanz mit der Temperatur abzuleiten. Wir setzen:

$$\frac{1}{2}\text{Mod}(3\varepsilon - 2\sigma - f) = 0.86_4$$
$$\frac{1}{2}\text{Mod}(3\varepsilon - 2\sigma) \qquad = 0.76,$$

wo $f$ der Temperaturkoeffizient der Funktion $F$ ist. Da das Glied $e^{-4}$ von $F$ bei unserem Paar von Magnet und Nadel verschwindet (s. § 24), so kann $F$ geschrieben werden in der Form: $1 + e^{-2}(l^2 - \frac{3}{2}l'^2)$, wo $l$ bzw. $l'$ die Poldistanz von Magnet bzw. Nadel bedeutet; demnach ist $f = 2(\lambda - \varepsilon)$, wo $\lambda$ den für Magnet und Nadel gleichgenommenen Temperaturkoeffizienten der Poldistanz bedeutet; also

$$\lambda = \frac{-0.1}{\text{Mod}} + \varepsilon = -0.4 \cdot 10^{-5}.$$

Da der Temperaturkoeffizient des Moments nach § 24 etwa $50 \cdot 10^{-5}$ ist, so können wir sagen: die Poldistanz ändert sich ungefähr hundertmal weniger mit der Temperatur als das magnetische Moment.

## § 21. Die Induktionskoeffizienten.

Herr Dr. Lüdeling hatte am 28. Juni 1901 die Güte, die Induktionskoeffizienten aller unserer Expeditionsmagnete mit den Hülfsmitteln des Potsdamer Observatoriums zu bestimmen. Über die verwandte Webersche Methode siehe z. B. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik 1901, S. 462; es wurde die Induktion durch die Vertikalintensität benützt.

Dreht man eine vertikal gestellte Spule das eine Mal ohne, das andere Mal mit einem in ihrem Innern symmetrisch befestigten Magneten um $180^0$, so erhält man in einem angeschlossenen Galvanometer zwei verschiedene Ausschläge $\alpha_0$ bezw. $\alpha_M$; denn im zweiten Fall änderte sich außer der Kraftlinienzahl der Vertikalintensität noch die Polstärke des eingelegten Magneten: sie war bei der Stellung „Nordpol unten" etwas stärker, bei der Stellung „Nordpol oben" etwas schwächer als normal. $\frac{1}{2}(\alpha_M - \alpha_0)$ ist proportional dem induzierten magnetischen Moment; man kann dieses selbst finden, wenn man den Ausschlag $\alpha_1$ bestimmt, den

ein kleiner Hülfsmagnet von bekanntem Moment $m$, plötzlich aus einiger Entfernung in die Spule eingeführt, verursacht. Es ist also das durch die Feldstärke 1 induzierte Moment

$$= \tfrac{1}{2} m \frac{\alpha_M - \alpha_0}{\alpha_1} \frac{1}{Z}, \text{ also der Induktionskoeffizient } i = \tfrac{1}{2} \frac{m}{M} \frac{\alpha_M - \alpha_0}{\alpha_1} \frac{1}{Z}.$$

Es wurden zwei kleine Hülfsmagnete $m$ und $m'$ benutzt; ihnen entsprechen die Ausschläge $\alpha_1$ und $\alpha'_1$. Alle Ausschläge $\alpha$ wurden zwanzigmal beobachtet; um das Verhältnis der magnetischen Momente zu erhalten, wurden in unmittelbarem Anschluß daran die Ablenkungswinkel aller Magnete aus einer und derselben Entfernung am großen Theodoliten des Observatoriums gemessen.

Es ergab sich im Mittel:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Spule allein . . . . | $\alpha_0$ | 149.44 | Skalenteile |
| Spule mit Magnet 32 . | $\alpha_{32}$ | 356.88 | „ |
| Spule mit Magnet 22 . | $\alpha_{22}$ | 370.24 | „ |
| Hülfsmagnet $m$ . . . | $\alpha_1$ | 685.56 | „ |
| Hülfsmagnet $m'$ . . . | $\alpha'_1$ | 156.36 | „ |

Ablenkungswinkel

| | |
|---|---|
| Magnet 32 . . | 21° 1.78′ |
| Magnet 22 . . | 20° 13.04′ |
| Hülfsmagnet $m$ . | 0° 35.53′ |
| Hülfsmagnet $m'$ . | 0° 7.88′ |

Mit $Z = 0.434$ ergibt sich hieraus als

**Induktionskoeffizient $i$**

| | Magnet 32 | Magnet 22 | Gewicht |
|---|---|---|---|
| Hülfsmagnet $m$ | 0.01004 | 0.01110 | 2 |
| Hülfsmagnet $m'$ | 00976 | 01079 | 1 |
| **Definitives $i$** | **0.0100** | **0.0110** | |

Wir haben dem Wert des stärkeren Hülfsmagneten doppeltes Gewicht beigelegt, weil ein minimaler Fehler im Ablenkungswinkel das Resultat bei dem schwächeren Hülfsmagneten $4^1/_2$ mal mehr beeinträchtigt, als beim stärkeren Hülfsmagneten. Daß der Unterschied der beiden $i$ nicht von den Galvanometerausschlägen, sondern von der relativen Momentbestimmung herrührt, geht daraus hervor, daß er bei sechs an jenem Tag untersuchten Magneten gleich groß ausfällt.

## § 22. Zusammenstellung der Reduktionsformeln.

Um aus den Beobachtungsdaten einer Station mit dem unbekannten $H$, nämlich aus dem Ablenkungswinkel $\varphi_t$ und der Schwingungsdauer $T_t$, beobachtet bei der Temperatur $t$, das $H$ nach der Formel: $\log H = \text{Reduktionsformel} - \log T_t - \tfrac{1}{2} \log \sin \varphi_t$ zu erhalten, haben wir also nach den Ergebnissen der beiden letzten Paragraphen folgende Reduktionsformeln anzuwenden, wobei $H_P = H_{Potsdam} = 0.1883$ zu setzen ist:

**Magnet 32.**

**Entfernung $e_1$** $\mathbf{9.81777 - 0.89_7\,(t-15) - 0.004_8\,(t-15)^2 + 0.0022\,(H_P - H)}$

**Entfernung $e_2$** $\mathbf{9.61820 - 0.79_0\,(t-15) - 0.008_9\,(t-15)^2 + 0.0022\,(H_P - H)}$

**Entfernung $e_3$** $\mathbf{9.58876 - 0.96_1\,(t-15) - 0.002_2\,(t-15)^2 + 0.0022\,(H_P - H)}$

**Magnet 22.**

**Entfernung $e_1$ $9.81803 - 0.94_8\,(t-15) - 0.008_2\,(t-15)^2 + 0.0024\,(H_P - H)$**
**Entfernung $e_2$ $9.61853 - 0.74_1\,(t-15) - 0.013_6\,(t-15)^2 + 0.0024\,(H_P - H)$**
**Entfernung $e_3$ $9.58905 - 0.85_2\,(t-15) - 0.013_3\,(t-15)^2 + 0.0024\,(H_P - H)$**

## § 23. Untersuchung über die Gleichwertigkeit der Messungen mit Bez. o und Bez. u.

Da einzelne Messungen während der Reise nur mit Bez. o angestellt worden sind, war es nötig, festzustellen, ob für dieselben die im letzten Paragraphen gegebenen Reduktionsformeln ohne weiteres verwendbar sind, da ja dieselben auf den Mittelwerten der Beobachtungen mit Bez. o und Bez. u, sowohl von $\varphi$ wie von $T$, beruhen. Daraufhin wurde das in § 18 mitgeteilte Beobachtungsmaterial untersucht: es wurden die in den betreffenden Spalten der Ablenkungen und Schwingungen noch getrennt mitgeteilten Werte Bez. o und Bez. u auf dieselbe Temperatur reduziert und darnach diejenige Größe ermittelt, welche den Wert Bez. o jedesmal auf den Wert $\frac{1}{2}$ (Bez. o + Bez. u), „auf normal", bringt. Das Mittel der sieben verschiedenen Messungen ergab folgende Reduktionsgrößen in $10^{-5}$ Einheiten:

| Reduktion von | log sin φ Bez. o | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | log $T$ Bez. o | auf normal |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Magnet 32 | + 3.1 | + 0.6 | + 1.7 | + 0.2 | |
| | Magnet 22 | + 0.5 | − 1.8 | − 0.8 | + 0.9 | |

Da von log sin $\varphi$ nur die halben Werte der Reduktionsgrößen in Betracht kommen, so ergibt sich, daß die Korrektion von $\log C_{normal}$ auf $\log C_{Bez.o}$ innerhalb der Fehlergrenze von $\log C$ (§ 20) liegt; wir sind also berechtigt, die Reduktionsformeln von § 22 für alle Messungen ohne Unterschied anzuwenden.

## § 24. Die Bestimmungsstücke zur Berechnung des magnetischen Moments.

Es ist interessant, die magnetischen Momente, insbesondere ihren Gang während der Reise, kennen zu lernen; wie man aus den Beobachtungen von $\varphi$ und $T$ zu $M$ gelangt, zeigt die Formel 14 von § 8. Die Konstante $Q_0 = \pi\sqrt{\frac{K_0 e_0^3}{2F}}$ leiten wir aus ihren einzelnen Bestandteilen ab; da es hauptsächlich auf den Gang der Momente ankommt, begnügen wir uns mit einer ohne besondere Anstrengungen zu erreichenden Genauigkeit.

Das Trägheitsmoment $K_0$ entnehmen wir den Bestimmungen von Herrn Dr. Luyken, welcher für zwei gleiche Schwestermagnete das Trägheitsmoment bei 0° zu 296 gr cm² gefunden hat (Band VI S. 128).

Die Entfernungen $e_1$, $e_2$, $e_3$ wurden durch ausführliche Versuche am 5. Januar 1903 im Winterlager unserer Expedition bestimmt: ein dem Theodoliten beigegebener, geprüfter Normalmaßstab von zylindrischer Form konnte auf die Anschläge des gebrauchsfertigen Instruments so aufgelegt werden, daß seine Längsachse dieselbe Stellung wie sonst diejenige eines eingelegten Ablenkungsmagneten einnahm; der Maßstab konnte dabei von dem äußeren Ende der einen Ablenkungsschiene nach dem äußeren Ende der andern frei verschoben werden. Beobachtet wurden die Einstellungen von den Kanten der benützten Anschlagsflächen auf der Teilung des Maßstabes bei acht verschiedenen Stellungen des Stabs; so ergab sich die Entfernung zwischen den einzelnen Anschlagflächen, also die doppelte Entfernung der Flächen von der Instrumentenmitte, welche nur um die Länge der Magnete vermindert zu werden braucht, um das Doppelte der gesuchten Entfernung zu ergeben. Auf diese Weise wurde die Entfernung: Instrumentenmitte-Magnetmitte für die drei benutzten Paare von Anschlagflächen nach Reduktion auf 0° wie folgt bestimmt:

Entfernung $e_1 = 24.033$ cm bei 0°
Entfernung $e_2 = 32.508$ „
Entfernung $e_3 = 34.030$ „

Den Wert der Funktion $F$ finden wir nach Formel 2a von § 6 und den daran geknüpften Bemerkungen. Die Dimensionen von Magnet und Nadel sind so gewählt, daß das Glied $D$ in dem Ausdruck von $e^{-2}$, und der ganze Faktor von $e^{-4}$ nahezu verschwindet; es ist $D = 0.04$ cm$^2$, der Faktor von $e^{-4} = -0.4$ cm$^4$. So bleibt für $F$ der Ausdruck:

$$F = 1 + \frac{12 \cdot 5}{e_0^2}.$$

Dazu schlagen wir noch nach § 10 Schluß den konstanten Teil der Induktionskorrektion, den Faktor $(1 + \frac{1}{2} i H \sin\varphi)$, dessen logarithmische Größe für beide Magnete gleich groß wird.

So erhalten wir für die Konstante $\log Q_0 +$ konstante Induktionskorrektion:

| | | |
|---|---|---|
| Entfernung $e_1$ | $3.64884 + 30 \times 10^{-5}$ | $= 3.64914$ |
| Entfernung $e_2$ | $3.84772 + 11$ | $= 3.84783$ |
| Entfernung $e_3$ | $3.87774 + 11$ | $= 3.87785$ |

Außer der Größe $Q$ für eine Normaltemperatur brauchen wir noch den Temperaturkoeffizienten dieser Größe selbst und des magnetischen Moments, den wir aus dem Beobachtungsmaterial von § 18 ableiten. Er folgt aus dem Temperaturgang der Funktion $\sin\frac{1}{2}\varphi\, T^{-1}$, welche bei drei verschiedenen Temperaturgruppen bestimmt ist. Wie die Momentberechnung zeigt, ist zwischen dem 17. und 18. Februar ein sehr starker Sprung in den Momenten beider Magnete eingetreten, der nur durch irgend ein grobes Versehen verursacht sein kann. Wahrscheinlich ist dasselbe dem damaligen, noch unerfahrenen Institutsdiener passiert, welcher während meiner Abwesenheit vom 17. abends bis 18. früh das Observatorium bediente. Die Messungen vom 18. und 19. können wir also zur Ermittlung der Temperaturkoeffizienten des Moments nicht brauchen. Aus den übrigen Messungen wurde der lineare und quadratische Temperaturkoeffizient nach dem Verfahren von § 19 ermittelt.

So erhalten wir mit Berücksichtigung des variablen Anteils der Induktionskorrektion folgende Reduktionsformeln zur Bestimmung des magnetischen Moments bei 0°:

$$\textbf{Magnet 32:}\ M_0 = \log Q_0 + \tfrac{1}{2}\log\sin\varphi_t - \log T_t + 20.7\,t + 0.072\,t^2 - 220\,H$$
$$\textbf{Magnet 22:}\ M_0 = \log Q_0 + \tfrac{1}{2}\log\sin\varphi_t - \log T_t + 23.2\,t + 0.069\,t^2 - 240\,H$$

Die beiden Magneten gemeinsame Größe $\log Q_0$ ist oben mitgeteilt. Die Korrektionen von Temperatur und Induktion sind in $10^{-5}$ Einheiten zu verstehen.

## Abschnitt IV. Die Beobachtungen auf den übrigen Basisstationen.

### § 25. Vorbemerkungen.

Ein Hauptzweck der $H$-Messungen mit dem Magnettheodoliten war neben der Erweiterung unserer erdmagnetischen Kenntnisse die Aufgabe, für die Neubestimmung der Konstanten unserer Schiffsinstrumente die Grundlagen zu schaffen; es wurden daher mehrfach zwischen die Messungen mit dem Theodoliten solche mit dem einen oder andern der Schiffsinstrumente eingeschaltet, um von dem Einfluß etwaiger Variationen möglichst frei zu sein; so erklären sich die durch die Zeitangaben ersichtlichen Unterbrechungen.

Da die genannten Arbeiten mehrere Tage in Anspruch nahmen, wurde in der Nähe des Beobachtungsplatzes kampiert, meist bei freundlichen Menschen in der Nähe, da der Ankerplatz des „Gauss“ zu weit entfernt war. Zur Hülfeleistung und zum Protokollführen stand mir gewöhnlich der zweite Offizier des „Gauss“, Herr L. Ott, zur Verfügung.

Zum Schutz für die Beobachtungen hatten wir ein niedriges, leider etwas dunkles Zelt; der Beleuchtung wegen mußte das Stativ im Eingang des Zeltes aufgestellt werden, so daß es gegen Wetter und gegen Sonne oft ungenügenden Schutz bot; natürlich wurde gegen die Sonne immer irgendwie ein weiterer Schutz geschaffen. Spuren des Windes kann man hie und da in den Schwingungen erkennen; doch sind diese viel weniger schädlich, als Temperatursprünge infolge ungenügenden Schutzes gegen Strahlung, wie sie sich z. B. in Kapstadt und auf St. Helena geltend machten.

Im folgenden ist für jede Station ein Beobachtungsauszug gegeben. Die Reihenfolge der Darstellung (Schwingungen, Ablenkungen) ist nicht chronologisch; vielmehr ist für jede Messungsgruppe die Beobachtungszeit besonders vermerkt. Bei den Schwingungen sind die einzelnen Reihen der beobachteten Zeitintervalle angegeben unter Beifügung der Anzahl der entsprechenden Schwingungsdauern; unter dem Mittel steht das Mittel der vor und nach der Reihe abgelesenen Temperatur, darunter der halbe Schwingungsbogen in Skalenteilen. Daneben sind die zur Berechnung der Korrektionen erforderlichen Daten mitgeteilt, und die Berechnung des reduzierten $\log T$ in unmittelbar verständlicher Weise ausgeführt.

Bei den Ablenkungen sind die zu jeder Magnetlage $v$ gehörigen Mittel der Kreisablesungen mitgeteilt; daneben steht der berechnete Ablenkungswinkel und die Mittellage der Ablenkungen zur Beurteilung der Torsionsverhältnisse; zu demselben Zweck ist mehrfach noch die Ruhelage der Nadel $v_0$ ohne Ablenkungen, die stets beobachtet wurde, angeführt. Der weitere Gang der Berechnung ist in Abschnitt I eingehend begründet.

Die magnetischen Momente sind nur für $e_1$ berechnet, da die absoluten Werte der Konstanten $Q$ nicht sehr sicher sind und da es uns nicht auf den absoluten Wert, sondern nur auf den Gang der Momente ankommt; nur an der Winterstation, wo $e_1$ keinen Ablenkungswinkel gab, ist $e_3$ benützt.

## § 26. Kapstadt.

Beobachtungsort: Wegen der elektrischen Straßenbahnen wurde die außerhalb der Stadt gelegene Höhe des „Signal Hill" auf dem „Lions Rump" als Beobachtungsstation gewählt. Das Zelt stand 200 m westlich von der amtlichen Signalstation.

Zeit: Mittlere Ortszeit. Schwingungen nach Chronometer Knoblich 2303.

Bemerkung: An beiden Tagen wurden etwa zu gleicher Zeit Messungen der Horizontalintensität von Herrn Professor Beattie vom South African College, Cape Town, und Herrn Professor Morrison vom Victoria College, Stellenbosch, in der Nähe meines Beobachtungsplatzes ausgeführt (s. u.).

**Beobachtungen vom 27. November 1901.**

### Magnet 32.

**Schwingungen**

Zeit $2^h\,14$—$3^h\,45$
102 Schwingungsdauern

| Bez. o | Bez. o | Bez. o | Bez. o |
|---|---|---|---|
| $7^m$ 0.6$^s$ | 7 0.6 | 7 0.5 | 7 0.5 |
| 0.4 | 0.4 | 0.8 | 0.7 |
| 0.3 | 0.7 | 1.2 | 0.6 |
| 0.0 | 0.6 | 0.8 | 0.9 |
| 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| 0.5 | 0.7 | 0.6 | 0.5 |
| 0.6 | 0.3 | 0.9 | 0.7 |
| 0.8 | 0.1 | 0.9 | 0.8 |
| 0.3 | 0.6 | 0.8 | 0.6 |
| | 0.3 | 0.8 | 0.6 |
| | 0.5 | 1.1 | 0.5 |
| | 0.7 | 0.9 | 0.6 |
| | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
| | 0.7 | 0.6 | 0.5 |
| | 0.4 | 0.9 | 0.5 |
| | 0.5 | 0.5 | 0.4 |
| | 0.5 | 0.4 | 0.5 |
| | 0.7 | 0.6 | 0.8 |
| | 0.5 | 0.8 | 0.3 |
| | | 0.8 | |
| Mittel $7^m$ 0.44$^s$ | 7 0.53 | 7 0.77 | 7 0.63 |
| t 26.7° | 26.73 | 28.05 | 26.88 |
| T 4.1220$^s$ | 4.1228 | 4.1252 | 4.1238 |
| Gewicht 1 | 2 | 2 | 2 |

Gesamtmittel $T = 4.1237^s$ für $t = 27.15$

**Korrektionen**

Torsion
Skalenwert $1\,p = 31.99'$
Torsionskopf $\alpha = 240°$
Skala $\theta = 3.81\,p$
$\frac{1}{2} \log (1 + \gamma)$ . . . . . $+ 185 \times 10^5$
Unendl. kl. Bogen . . . . . $-$ 2

Uhrgang
$\Delta s = -2^s$ . . . . . $-$ 1
Temperatur
Koeff. 10.1
Reduktion auf 24° . . . . . $-$ 32

Σ Korr. + 150

mittl. log T 0.61 529
Σ Korr. + 150

**korr. log $T_{24}$ 0.61 679**

## Ablenkungen

### Entfernung $e_1$

Zeit $7^h$ 15—$8^h$ 15 a. m.

Bez. o

$v_1$ 163° 49.46′
$v_2$ 163 58.56 φ = 48° 12.76′
$v_3$ 260 29.14 m = 212 6.72
$v_4$ 260 9.82

t = 24.04

Zeit $4^h$ 15—$5^h$ 15 p. m.

Bez. o

$v_1$ 163° 58.01′
$v_2$ 164 10.53 φ = 48° 20.33′
$v_3$ 260 51.25 m = 212 24.60
$v_4$ 260 38.58

t = 19.04

a. m.

| | |
|---|---|
| log sin φ | 9.87 252 |
| Korr. Torsion | — 3 |
| Red. auf t = 24° | + 1 |
| korr. log sin $\varphi_{24}$ | 9.87 250 |

p. m.

| | |
|---|---|
| log sin φ | 9.87 338 |
| Korr. Torsion | — 3 |
| Red. auf t = 24° | — 107 |
| korr. log sin $\varphi_{24}$ | 9.87 228 |

**korr. log sin $\varphi_{24}$ 9.87 239**

Temp. Koeff. 22

Temp. Koeff. 22.5

Mittel

### Entfernung $e_3$

Zeit $7^h$ 15—$8^h$ 15 a. m.

Bez. o

$V_1$ 196° 50.97′
$V_2$ 196 52.59 φ = 15° 3.25′
$V_3$ 226 59.79 m = 211 55.03
$V_4$ 226 56.75

t = 25.43

Zeit $4^h$ 15—$5^h$ 15 p. m.

Bez. o

$V_1$ 227° 14.63′
$V_2$ 227 17.53 φ = 15° 4.30
$V_3$ 197 8.77 m = 212 11.79
$V_4$ 197 6.21

t = 20.48

a. m.

| | |
|---|---|
| log sin φ | 9.41 453 |
| Korr. Torsion | — 1 |
| Red. auf t = 24° | — 13 |
| korr. log sin $\varphi_{24}$ | 9.41 439 |

p. m.

| | |
|---|---|
| log sin φ | 9.41 502 |
| Korr. Torsion | — 1 |
| Red. auf t = 24° | — 76 |
| korr. log sin $\varphi_{24}$ | 9.41 425 |

**korr. log sin $\varphi_{24}$ 9.41 432**

---

| | |
|---|---|
| log $C_{24}$ | 9.81 769 |
| Korr. Indukt. | + 1 |
| | 9.81 770 |
| — ½ log sin $\varphi_{24}$ | 9.93 620 |
| — log $T_{24}$ | 0.61 679 |
| log H | 9.26 471 |

**H = 0.18 395**

| | |
|---|---|
| log $C_{24}$ | 9.58 867 |
| Korr. Indukt. | + 1 |
| | 9.58 868 |
| — ½ log sin $\varphi_{24}$ | 9.70 716 |
| — log $T_{24}$ | 0.61 679 |
| log H | 9.26 473 |

**H = 0.18 396**

M = 940.9 Magnetisches Moment von Magnet 32 bei 0°.

## Beobachtungen vom 30. November 1901.

# Magnet 32.

### Schwingungen

Zeit $0^h$ 44—$1^h$ 14 p. m.
102 Schwingungsdauern

| | Bez. o | Bez. u |
|---|---|---|
| | $7^m$ 1.5$^s$ | 7 1.2 |
| | 1.0 | 0.9 |
| | 1.0 | 1.0 |
| | 1.1 | 1.1 |
| | 0.9 | 1.1 |
| | 1.1 | 1.1 |
| | 1.0 | 1.2 |
| | 0.8 | 1.1 |
| | 0.9 | 1.1 |
| | 0.9 | 1.2 |
| | 1.0 | 1.4 |
| | 1.0 | 1.3 |
| | 1.2 | 1.3 |
| | 1.1 | 1.1 |
| | 1.1 | 1.4 |
| | 0.9 | 1.2 |
| | 1.0 | 1.2 |
| | 0.8 | 1.0 |
| | 1.4 | 1.3 |
| Mittel | $7^m$ 1.027$^s$ | 7 1.168 |
| t | 32.90° | 33.45 |
| T | 4.1277$^s$ | 4.1291 |

**Korrektionen**

Torsion
Skalenwert 1 p = 31.99′
Torsionkopf $\alpha$ = 240°
Skala $\theta$ = 3.75$^p$
1/2 log (1 + $\gamma$) . . . . . + 182×10$^{-5}$

Unendl. kl. Bogen . . . . . — 2

Uhrgang
$\Delta$ s = 2$^s$ . . . . . — 1

Temperatur
Koeff. 10.7
Reduktion auf 30° . . . . . — 34

$\Sigma$ Korr. = + 145

log T = 0.61 578
$\Sigma$ Korr. = + 145

**korr. log $T_{30}$ 0.61 723**

### Ablenkungen

Zeit $10^h$ 29 — $11^h$ 54 a. m.

| Entfernung $e_1$ | | Entfernung $e_2$ | |
|---|---|---|---|
| Bez. o | | Bez. o | |
| $v_1$ 289° 32.58′ | | $V_1$ 259° 53.34′ | |
| $v_2$ 290 16.30 | $\varphi$ = 50° 47.20′ | $V_2$ 260 1.64 | $\varphi$ = 15° 16.85′ |
| $v_3$ 188 26.52 | m = 239 7.25 | $V_3$ 229 25.97 | m = 244 40.65 |
| $v_4$ 188 13.58 | | $V_4$ 229 21.63 | |
| t = 25.98 | | t = 27.00 | |

Zeit $2^h$ 14 — $3^h$ 4 p. m.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bez. u | | Bez. u | |
| $v_1$ 289° 39.83′ | | $V_1$ 229° 33.19′ | |
| $v_2$ 290 21.84 | $\varphi$ = 50° 25.62′ | $V_2$ 229 37.95 | $\varphi$ = 15° 15.28′ |
| $v_3$ 188 46.72 | m = 239 35.23 | $V_3$ 260 10.40 | m = 244 50.85 |
| $v_4$ 189 32.50 | | $V_4$ 260 1.84 | |
| t = 28.01 | | t = 27.75 | |

Ich war sehr erschrocken, als ich diese Ablenkungswinkel berechnete und mit denen vom 27. November verglich; von der Temperatur konnte ein so großer Unterschied nicht herrühren. Aus dem Beobachtungsbuch ließ sich keinerlei Störung ermitteln; nur zeigte es sich, daß bei einer Messung tags zuvor, welche mit einer Torsionsbestimmuug aufgehört hatte, der Torsionskopf auf — 180° stehen geblieben war. So wurde ich trotz entgegenstehender Literaturangaben darauf geführt, nach einem Einfluß der Torsion auf den Ablenkungswinkel zu suchen, der dann in Terrestrial Magnetism. Vol. IX 1904 pag. 157 ff. dargelegt[1]) wurde. Bei der Kleinheit des als Nadel dienenden Magneten und bei Verwendung eines 0.04 mm starken Messingfadens konnte jener Einfluß so groß werden.

[1]) Derselbe war übrigens schon von Solander 1889 nachgewiesen, s. Vol. X pg. 51.

Bei vorhandener Torsion unterscheidet sich die Mittellage m eines Ablenkungsversuchs von der Stellung x der torsionsfrei aufgehängten Nadel und wir haben den Zusammenhang

$$H \sin \varphi \cos (x-m) = FM.$$

Ist mit zwei verschiedenen Entfernungen beobachtet worden, so läßt sich die unbekannte Stellung x daraus ableiten, die gerade während der Ablenkungsversuche stattgefunden hätte; es folgt nämlich leicht nach der letzten Gleichung:

$$\operatorname{tg} x = \frac{\sin m_1 \cos \varphi_1 - \sin m_2 \cos \varphi_2}{\cos m_1 \cos \varphi_1 - \cos m_2 \cos \varphi_2}.$$

Mit x haben wir aber auch die an den beobachteten Ablenkungswinkeln anzubringenden Korrektionen cos (x—m) gefunden. So ergibt sich für die obigen Versuche

$$x = 255^\circ\ 1.57' \text{ für a. m.}$$
$$254\ 51.98 \text{ für p. m.}$$

## Berechnung:

| Entfernung $e_1$ | | | Entfernung $e_3$ | |
|---|---|---|---|---|
| | | a. m. | | |
| log sin φ | 9.88 919 | | log sin φ | 9.42 086 |
| log cos (x—m) | 9.98 305 | | log cos (x—m) | 9.99 288 |
| Red. auf t = 30 | — 94 | Temp. Koeff. 23.5 | Red. auf t = 30 | — 71 |
| korr. log sin $\varphi_{30}$ | 9.87 130 | | korr. log sin $\varphi_{30}$ | 9.41 303 |
| | | p. m. | | |
| log sin φ | 9.88 695 | | log sin φ | 9.42 014 |
| log cos (x—m) | 9.98 437 | | log cos (x—m) | 9.99 333 |
| Red. auf t = 30° | — 47 | Temp. Koeff. 23.7 | Red. auf t = 30 | — 53 |
| korr. log sin $\varphi_{30}$ | 9.87 085 | | korr. log sin $\varphi_{30}$ | 9.41 294 |
| **korr. log sin $\varphi_{30}$** | **9.87 108** | Mittel | **korr. log sin $\varphi_{30}$** | **9.41 299** |
| log $C_{30}$ | = 9.81 763 | | log $C_{30}$ | = 9.58 862 |
| Korr. Indukt. | + 1 | | Korr. Indukt. | + 1 |
| | 9.81 764 | | | 9.58 863 |
| — ½ log sin $\varphi_{30}$ | 9.93 554 | | — ½ log sin $\varphi_{30}$ | 9.70 650 |
| — log $T_{30}$ | 0.61 723 | | — log $T_{30}$ | 0.61 723 |
| log H | 9.26 487 | | log H | 9.26 490 |
| **H = 0.18 402** | | | **H = 0.18 403** | |

M = 941.7 Magnetisches Moment von Magnet 32 bei 0°.

## Vergleichung des deutschen und südafrikanischen Instruments.

Um die Beobachtungszeiten beider Instrumente miteinander vergleichen zu können, wurde als Zeit der *H*-Bestimmung das Mittel der mittleren Zeit je von den Ablenkungen und Schwingungen angenommen. Das südafrikanische Instrument war ein Kewsches Magnetometer mit Ablenkungen nach der Tangentenmethode; die folgenden Resultate desselben sind von Herrn Professor Beattie mitgeteilt.

| | Deutsches Instrument | | Südafrikan. Instrument | | Differenz der *H* |
|---|---|---|---|---|---|
| | Mittlere Ortszeit | *H* | Mittlere Ortszeit | *H* | |
| 27. November 1901 | $4^h$ 34 p. m. | 0.18395 | $3^h$ 17 p. m. | 0.18418 | — 23γ |
| 30. „ 1901 | $0^h$ 50 p. m. | 0.18402 | $0^h$ 22 p. m. | 0.18427 | — 25γ |

Vielleicht wird diese Instrumentenvergleichung für die große südafrikanische, erdmagnetische Landesvermessung von Bedeutung, welche von den genannten beiden Herren ausgeführt worden ist, und welche dem Vernehmen nach sich noch weiter über die Ostseite von Afrika erstrecken soll.

## § 27. Kerguelen.

Beobachtungsort: In der Nähe der deutschen Kerguelenstation wurde ein möglichst windstiller Platz an der Ostseite des „Magnetberges" für die Beobachtungen ausgesucht; derselbe ist auf Tafel V von Band VI dieses Werks in der kleinen Nebenkarte unter Nr. 20 von Herrn Dr. Luyken angegeben. Der Boden war Sand aus Bimstein; die ganze Umgebung ist lokal gestört.

Zeit: Mittlere Ortszeit. Schwingungen: Chronometer Bröcking 1330.

Bemerkung: Etwas windig während der Beobachtungen.

**Beobachtungen vom 16. Januar 1902.**

### Magnet 22.

**Schwingungen**

| Zeit $10^h$ 45—59 a. m. 128 Schwingungsdauern. | Zeit $2^h$ 8—23 p. m. 126 Schwingungsdauern. |
|---|---|
| Bez. 0 | Bez. 0 |
| $9^m$ 31.7$^s$ | 9 21.15 |
| 1.5 | 1.1 |
| 1.6 | 1.05 |
| 1.6 | 0.9 |
| 1.55 | 1.2 |
| 1.6 | 1.1 |
| 1.4 | 0.8 |
| 1.6 | 1.0 |
| 1.6 | 1.0 |
| 1.7 | 1.4 |
| 1.5 | 1.1 |
| 1.7 | 1.1 |
| 1.6 | 0.8 |
| 1.7 | 1.0 |
| 1.6 | 0.9 |
| 1.55 | 0.9 |
| 1.7 | 1.0 |
| 1.9 | 1.0 |
| 1.6 | 1.1 |
| 1.7 | 1.0 |
| Mittel $9^m$ 31.62$^s$ | 9 21.03 |
| t 18.85° | 11.65 |
| T 4.4658$^s$ | 4.4526 |
| log T 0.64990 | 0.64861 |
| Red. auf 10° — 89 | — 16 |
| log $T_{10}$ 0.64901 | 0.64845 |

**Korrektionen**

Torsion
Skalenwert 1p = 31.99′ nach der Kapstädter Bestimmung
Torsionskopf $\alpha = 360°$
Skala $\theta = 0.56$p
$\frac{1}{2}$ log $(1+\gamma)$ . . . . . + 17 $10^{-5}$

Unendl. kl. Bogen . . . . . — 2

Uhrgang
$\Delta s = 0^s$ . . . . . 0

Temperatur
Koeffizient für 18°.85 auf 10° = 10
Reduktion von 11.65 10 = 9.4

Σ Korr. + 15

Mittl. log $T_{10}$ 0.64 873
Σ Korr. + 15

**korr. log $T_{10}$ 0.64 888**

## Ablenkungen

Zeit $3^h$—$3^h$ 45p

| Entfernung $e_1$ | | Entfernung $e_3$ | |
|---|---|---|---|
| Bez. 0 | | Bez. 0 | |
| $v_1$ 33° 25.89′ | | $V_1$ 356° 18.74′ | |
| $v_2$ 34 28.24 | $\varphi =$ 53° 25.52′ | $V_2$ 356 29.62 | $\varphi =$ 16° 14.36′ |
| $v_3$ 287 1.22 | m = 340 31.56 | $V_3$ 323 54.48 | m = 340 9.82 |
| $v_4$ 287 10.85 | | $V_4$ 323 56.43 | |
| t = 10.56 | | t = 11.51 | |
| log sin $\varphi$ | 9.90 476 | log sin $\varphi$ | 9.44 662 |
| Korr. Torsion | — 6 | Korr. Torsion | — 2 |
| Red. auf t = 10° | + 11 | Red. auf t = 10° | + 31 |
| **korr. log sin $\varphi_{10}$** | **9.90 481** | **korr. log sin $\varphi_{10}$** | **9.44 691** |
| log $C_{10}$ | 9.81 808 | log $C_{10}$ | 9.58 909 |
| Korr. Indukt. | + 6 | Korr. Indukt. | + 6 |
| | 9.81 814 | | 9.58 915 |
| — ½ log sin $\varphi_{10}$ | 9.95 240 | — ½ log sin $\varphi_{10}$ | 9.72 345 |
| — log $T_{10}$ | 0.64 888 | — log $T_{10}$ | 0.64 888 |
| log H | 9.21 686 | log H | 9.21 682 |
| **H = 0.16 476** | | **H = 0.16 475** | |

Temp. Koeff. 20.2

M = 900.8 Magnetisches Moment von Magnet 22 bei 0°.

# Magnet 32.

## Schwingungen

Zeit $11^h$ 9—21 a. m. Zeit $2^h$ 30—42 p. m.

100 Schwingungsdauern.

| | Bez. 0 | Bez. 0 |
|---|---|---|
| | $7^m$ 16.8s | 7 15.4 |
| | 6.9 | 5.6 |
| | 6.8 | 5.6 |
| | 6.9 | 5.6 |
| | 6.9 | 5.4 |
| | 6.7 | 5.5 |
| | 6.9 | 5.5 |
| | 6.9 | 5.5 |
| | 6.8 | 5.4 |
| | 6.8 | 5.6 |
| | 6.8 | 5.5 |
| | 7.0 | 5.5 |
| | 6.8 | 5.6 |
| | 6.7 | 5.5 |
| | 6.6 | 5.6 |
| | 6.9 | 5.6 |
| | 6.9 | 5.7 |
| | 6.9 | 5.6 |
| | 6.7 | 5.6 |
| | 6.7 | 5.4 |
| | | 5.5 |
| Mittel | $7^m$ 16.82s | 7 15.53 |
| t | 18.63° | 11.58 |
| T | 4.3682s | 4.3553 |
| log T | 0.64 030 | 0.63 902 |
| Red. auf 10° | — 76 | — 13 |
| log $T_{10}$ | 0.63 954 | 0.63 889 |

### Korrektionen

Torsion

Skalenwert 1 p = 31.99′ nach der Kapstädter Bestimmung

Torsionskopf $\alpha$ = 360°

Skala $\theta$ = 0.50p

½ log (1 + $\gamma$) . . . . . + 16 × $10^{-5}$

Unendl. kl. Bogen . . . . . — 2

Uhrgang

$\Delta s$ = 0s . . . . . 0

Temperatur

Koeffizient für 18°63 auf 10° = 8.8

Reduktion von 11.58 10 = 8.4

Σ Korr. + 14

Mittl. log $T_{10}$ = 0.63 922

Σ Korr. + 14

**korr. log $T_{10}$ 0.63 936**

## Ablenkungen

Zeit $4^h$ 10—$4^h$ 45 p. m.

**Entfernung $e_1$**

Bez. o

$v_1$ 36° 53.13′
$v_2$ 38 14.84 $\varphi$ = 57° 0.76′
$v_3$ 283 12.20 m = 340 33.83
$v_4$ 283 55.13
t = 9.92°

| | |
|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.92 360 |
| Korr. Torsion | — 6 |
| Red. auf t = 10° | — 1 |
| **korr. log sin $\varphi_{10}$** | **9.92 353** |

**Entfernung $e_3$**

Bez. o

$V_1$ 357° 4.33′
$V_2$ 357 15.75 $\varphi$ = 17° 0.00
$V_3$ 323 6.72 m = 340 10.05
$V_4$ 323 13.37
t = 8.5°

| | |
|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.46 594 |
| Korr. Torsion | — 2 |
| Red. auf t = 10° | — 33 |
| **korr. log sin $\varphi_{10}$** | **9.46 559** |

Temp. Koeff. = 17.7

| | |
|---|---|
| log $C_{10}$ | = 9.81 781 |
| Korr. Indukt. | + 6 |
| | 9.81 787 |
| — ½ log sin $\varphi_{10}$ | 9.96 177 |
| — log $T_{10}$ | 0.63 936 |
| log H | 9.21 674 |
| **H = 0.16 472** | |

| | |
|---|---|
| log $C_{10}$ | = 9.58 881 |
| Korr. Indukt. | + 6 |
| | 9.58 887 |
| — ½ log sin $\varphi_{10}$ | 9.73 280 |
| — log $T_{10}$ | 0.63 936 |
| log H | 9.21 671 |
| **H = 0.16 471** | |

M = 940.4 Magnetisches Moment von Magnet 32 bei 0°.

## Beobachtungen vom 21. Januar 1902.

# Magnet 22.

## Schwingungen

| Zeit $8^h$ 15—50 a. m. | | Zeit $0^h$ 47—$1^h$ 14 p. m. | |
|---|---|---|---|
| 100 Schwingungsdauern | | 98 Schw.-D. | 100 Schw.-D. |
| Bez. o | Bez. o | Bez. o | Bez. o |
| $7^m$ 24.2$^s$ | 7 24.6 | 7 15.95 | 7 25.3 |
| 4.6 | 4.7 | 6.05 | 5.0 |
| 4.5 | 4.7 | 5.85 | 5.05 |
| 4.65 | 4.6 | 5.75 | 4.8 |
| 4.5 | 4.8 | 6.0 | 5.05 |
| 4.3 | 4.7 | 5.85 | 4.95 |
| 4.5 | 4.65 | 5.9 | 5.2 |
| 4.7 | 4.75 | 5.85 | 5.1 |
| 4.55 | 4.75 | 5.85 | 5.1 |
| 4.35 | 4.7 | 6.0 | 4.8 |
| 4.45 | 4.6 | 5.7 | 5.0 |
| 4.5 | 4.7 | 5.95 | 5.0 |
| 4.5 | 4.9 | 5.8 | 5.0 |
| 4.45 | 4.8 | 5.95 | 5.05 |

### Korrektionen

Torsion
Skalenwert 1p = 31.99′ nach der Kapstädter Bestimmung
Torsionskopf $\alpha$ = 360°
Skala $\theta$ = 0.54p
½ log (1 + $\gamma$) . . . . . + 17

Unendl. kl. Bogen . . . . . — 2

Uhrgang
$\Delta s = 0^s$ . . . . . 0

Temperatur
Koeffizient für Reduktion von
8.18 auf 10° = 9.1
11.50 auf 10 = 9.3
11.20 auf 10 = 9.3
13.75 auf 10 = 9.6

Σ Korr. + 15

| Bez. o | Bez. o | Bez. o | Bez. o |
|---|---|---|---|
| 4.5 | 4.8 | 5.8 | 5.1 |
| 4.6 | 4.8 | 5.9 | 5.0 |
| 4.55 | 4.8 | 5.8 | 5.2 |
| 4.55 | 4.7 | 6.15 | 5.1 |
| 4.35 | 4.95 | 5.7 | 5.1 |
| 4.6 | 4.7 | 5.9 | 5.05 |
| 4.6 | 5.0 | | 5.4 |
| | | | 5.0 |
| Mittel $7^m$ $24.50^s$ | 7 24.75 | 7 15.89 | 7 25.06 |
| t 8.18° | 11.50 | 11.20 | 13.75 |
| T $4.4450^s$ | 4.4475 | 4.4479 | 4.4506 |
| log T 0.64 787 | 0.64 812 | 0.64 815 | 0.64 842 |
| Red. auf 10° + 17 | — 14 | — 11 | — 36 |
| log $T_{10}$ 0.64 804 | 0.64 798 | 0.64 804 | 0.64 806 |

Mittel log $T_{10}$ = 0.64 803
Σ Korr. = + 15
**korr. log $T_{10}$ = 0.64 818**

## Ablenkungen

### Entfernung $e_1$

Zeit $9^h$ 23—$10^h$ 13 a. m.

Bez. o

$v_1$ 280° 57.87′
$v_2$ 280 47.05 φ = 53° 22.80′
$v_3$ 174 38.53 m = 227 29.66
$v_4$ 173 35.16
t = 11.0°

log sin φ 9.90 450
Korr. Torsion — 6
Red. auf t = 10° + 20

**korr. log sin $\varphi_{10}$ 9.90 464**

log $C_{10}$ = 9.81 808
Korr. Indukt. + 6
9.81 814
— ½ log sin $\varphi_{10}$ 9.95 232
— log $T_{10}$ 0.64 818
log H 9.21 764

**H = 0.16 506**

### Entfernung $e_3$

Bez. o

$V_1$ 243° 23.57′
$V_2$ 243 22.49 φ = 16° 14.22′
$V_3$ 210 59.49 m = 227 8.81
$V_4$ 210 49.68
t = 11.25°

log sin φ 9.44 655
Korr. Torsion — 2
Red. auf t = 10° + 25

**korr. log sin $\varphi_{10}$ 9.44 678**

log $C_{10}$ = 9.58 909
Korr. Indukt. + 6
9.58 915
— ½ log sin $\varphi_{10}$ 9.72 339
— log $T_{10}$ 0.64 818
log H 9.21 758

**H = 0.16 504**

Temp. Koeff. 19.8

M = 902.1 Magnetisches Moment von Magnet 22 bei 0°.

# Magnet 32.

## Schwingungen

Zeit $7^h$ 41 — $8^h$ 7 a. m. Zeit $0^h$ 15 — $0^h$ 42 p. m.

100 Schwingungsdauern.

| Bez. 0 | Bez. 0 | Bez. 0 | Bez. 0 |
|---|---|---|---|
| $7^m$ 14.55$^s$ | 7 14.6 | 7 15.75 | 7 15.5 |
| 4.6 | 4.8 | 5.7 | 5.5 |
| 4.7 | 4.65 | 5.7 | 5.5 |
| 4.7 | 4.75 | 5.65 | 5.4 |
| 4.7 | 4.7 | 5.6 | 5.65 |
| 4.7 | 4.6 | 5.6 | 5.4 |
| 4.6 | 4.7 | 5.6 | 5.6 |
| 4.75 | 4.8 | 5.7 | 5.7 |
| 4.7 | 4.8 | 5.8 | 5.65 |
| 4.65 | 4.8 | 5.7 | 5.65 |
| 4.6 | 4.85 | 5.65 | 5.5 |
| 4.7 | 4.7 | 5.65 | 5.65 |
| 4.6 | 4.75 | 5.7 | 5.4 |
| 4.6 | 4.75 | 5.7 | 5.55 |
| 4.6 | 4.75 | 5.75 | 5.5 |
| 4.7 | 4.8 | 5.75 | 5.6 |
| 4.55 | 4.9 | 5.7 | 5.5 |
| 4.6 | 4.85 | 5.6 | 5.6 |
| 4.7 | 4.8 | 5.8 | 5.5 |
| | 4.85 | 5.65 | 5.5 |
| | 4.9 | 5.8 | 5.4 |
| | | | 5.35 |
| | | | 5.5 |
| Mittel $7^m$ 14.65$^s$ | 7 14.77 | 7 15.69 | 7 15.53 |
| t 6.0° | 6.63 | 14.53 | 13.0 |
| T 4.3465$^s$ | 4.3477 | 4.3569 | 4.3553 |
| log T 0.63 814 | 0.63 826 | 0.63 918 | 0.63 902 |
| Red. auf 10° + 32 | + 28 | — 39 | — 26 |
| log $T_{10}$ 0.63 846 | 0.63 854 | 0.63 879 | 0.63 876 |

### Korrektionen

Torsion

Skalenwert 1 p = 31.99′ nach der Kapstädter Bestimmung

Torsionskopf $\alpha$ = 360°

Skala $\theta$ = 0.51 p

½ log (1 + $\gamma$) . . . . . + 16

Unendl. kl. Bogen . . . . . — 2

Uhrgang

$\Delta s = 0^s$ . . . . . 0

Temperatur

Koeffizient für Reduktion von { 6.0° auf 10° = 8.1; 6.63 10 = 8.2; 14.53 10 = 8.7; 13.0 10 = 8.5 }

+ 14

Mittl. log $T_{10}$ 0.63 864

Σ Korr. + 14

**korr. log $T_{10}$ 0.63 878**

## Ablenkungen

Zeit $10^h$ 23—$11^h$ 7 a. m.

### Entfernung $e_1$

Bez. 0

$v_1$ 284° 40.28′

$v_2$ 284 14.35 $\varphi$ = 56° 50.37′

$v_3$ 171 15.98 m = 227 36.95

$v_4$ 170 17.18

t = 11.65°

log sin $\varphi$ 9.92 280

Korr. Torsion — 6

Red. auf t = 10° + 30

**korr. log sin $\varphi_{10}$ 9.92 304**

Temp. Koeff. = 18

### Entfernung $e_3$

Bez. 0

$V_1$ 244° 12.27′

$V_2$ 244 8.52 $\varphi$ = 16° 58.01′

$V_3$ 210 18.60 m = 227 12.39

$V_4$ 210 10.15

t = 10.28°

log sin $\varphi$ 9.46 511

Korr. Torsion — 2

Red. auf t = 10° + 5

**korr. log sin $\varphi_{10}$ 9.46 514**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | log $C_{10}$ | = 9.81 781 | | log $C_{10}$ | = 9.58 881 |
| | Korr. Indukt. | + 6 | | Korr. Indukt. | + 6 |
| | | 9.81 787 | | | 9.58 887 |
| — ½ | log sin $\varphi_{10}$ | 9.96 152 | — ½ | log sin $\varphi_{10}$ | 9.73 257 |
| — | log $T_{10}$ | 0.63 878 | — | log $T_{10}$ | 0.63 878 |
| | log H | 9.21 757 | | log H | 9.21 752 |
| | **H = 0.16 503** | | | **H = 0.16 501** | |

M = 941.2 Magnetisches Moment von Magnet 32 bei 0°.

Wir haben also als Gesamtresultat:

**16. Januar 1902 $2^h$ 20 p. m. M. O. Z. $H$ = 0.16474**
**21. „ 1902 $10^h$ 20 a. m. „ = 0.16504**

Diese Werte weichen um etwa 250 $\gamma$ von dem Wert des absoluten Observatoriums von Herrn Dr. Luyken ab; dasselbe stand möglichst frei von den umgebenden Bergen, während mein Beobachtungszelt in unmittelbarem Schutz eines solchen stand. Herr Dr. Luyken hat später mit seinem Instrument denselben Unterschied zwischen beiden Plätzen gefunden.

Auch die Abweichung der beiden Werte vom 16. bzw. 21. Januar unter sich wird durch die Resultate der Kerguelen-Station als Erscheinung des täglichen Gangs erklärt: der a. m.-Wert ist größer als der p. m.-Wert. Nach der mittleren Monatskurve vom Januar 1903 würde den obigen Zeiten ein Unterschied von 12 $\gamma$ im selben Sinn entsprechen. Näheres hierzu siehe Band VI.

## § 28. Gauss-Station in der Antarktis.

Die eigentlichen Stationsarbeiten zur Bestimmung der Basiswerte der Variations-Instrumente wurden mit einem andern, aber gleichartigen „Stationstheodoliten" ausgeführt. Die im folgenden gegebenen Beobachtungen mit dem „Reisetheodoliten" dienten zur Einleitung der Stationsarbeiten und zum Anschluß der Instrumente aneinander.

### Beobachtungen vom 27. Februar 1902.

Beobachtungsort: Auf einer alten Eisscholle in der Nähe des „Gauss". Ringsum offenes Wasser.

Zeit: Mittlere Greenwich-Zeit. Chronometer Nardin $\frac{55}{8555}$.

Bemerkungen: Schollen schwanken leicht und regelmäßig; Beobachten jedoch gut möglich. Die Beobachtung hatte den Zweck, aufzuklären, ob es möglich wäre, mitten auf dem schollenbedeckten Meer, 90 km ab von der nächsten Küste, ein Variationsobservatorium zu errichten; bald danach wurden die Anstalten dazu begonnen.

Mit der Reiterlibelle des Theodoliten wurde die sehr gleichmäßige Periode der unter den Schollen weglaufenden Dünung gemessen und zu 13.5 sec. festgestellt; die Fortpflanzungsrichtung war etwa nordsüdlich, und die Größe der Neigungsschwankungen der Scholle in dieser Richtung betrug etwa 12″.

Entfernung $e_1$ gibt einen unendlich großen Ablenkungswinkel.

## Beobachtungen vom 27. Februar 1902.

# Magnet 22.

### Schwingungen

Zeit $6^h$ 11—45 a. m. Zeit $0^h$ 18—48 p. m.

100 Schwingungsdauern.

| Bez. 0 | Bez. 0 | Bez. 0 | Bez. 0 |
|---|---|---|---|
| $8^m$ 14.9$^s$ | 8 15.2 | 8 14.7 | 8 14.7 |
| 5.0 | 4.7 | 4.6 | 4.4 |
| 5.2 | 5.4 | 4.65 | 4.7 |
| 5.3 | 5.7 | 4.7 | 4.5 |
| 5.3 | 5.4 | 4.7 | 4.4 |
| 5.35 | 5.4 | 4.5 | 4.5 |
| 5.3 | 5.4 | 4.55 | 4.35 |
| 5.3 | 5.3 | 4.6 | 4.5 |
| 5.3 | 5.3 | 4.5 | 4.7 |
| 5.3 | 5.3 | 4.5 | 4.5 |
| 5.1 | 5.4 | 4.6 | 4.45 |
| 5.4 | 5.3 | 3.9 | 4.4 |
| 5.3 | 5.35 | 4.5 | 4.3 |
| 5.2 | 5.3 | 4.5 | 4.55 |
| 5.5 | 5.1 | 4.5 | 4.6 |
| 5.4 | 5.4 | 4.6 | 4.5 |
| 5.3 | 5.2 | 4.7 | 4.3 |
| 5.1 | 5.4 | 4.5 | 4.3 |
| 5.5 | 5.3 | 4.6 | 4.4 |
| 5.35 | 5.3 | 4.6 | 4.5 |
| | 5.4 | | 4.5 |
| Mittel $8^m$ 15.27$^s$ | 8 15.31 | 8 14.55 | 8 14.48 |
| t 2.00° | 2.10 | 1.30 | 3.13 |
| h 2.0p | 2.3 | 2.7 | 2.5 |
| T 4.9527$^s$ | 4.9531 | 4.9455 | 4.9448 |
| log T 0.69 484 | 0.69 488 | 0.69 421 | 0.69 415 |
| Red. auf 0° — 15 | — 16 | + 10 | + 23 |
| log $T_0$ 0.69 469 | 0.69 472 | 0.69 431 | 0.69 438 |

**Korrektionen**

Torsion
Skalenwert 1 p = 30.89′
Torsionskopf $\alpha$ = 360°
Skala $\theta$ = 0.84p
½ log (1 + $\gamma$) . . . . . + 26

Unendl. kl. Bogen
mittl. h = 2.4p = 1.2° . . . . . — 1

Uhrgang
$\Delta s = 8^s$ . . . . . + 4

Temperatur
Koeffizient für Reduktion von { + 2.°00 auf 0° = 7.7; — 1.°30 auf 0° = 7.4; — 3.°13 auf 0° = 7.3 }

Σ Korr. + 29

Mittl. log $T_0$ = 0.69 452
Σ Korr. + 29
**korr. log $T_0$ = 0.69 481**

## Ablenkungen

Entfernung $e_3$

Zeit $10^h$ 42 — $11^h$ 20 a. m.

Bez. 0

$V_1$ 20° 16.28′
$V_2$ 20 30.26 $\varphi$ = 20° 27.62′
$V_3$ 339 28.17 m = 179 55.86
$V_4$ 339 28.31
t = + 0.80°
$V_0$ 179° 54.33′

log sin $\varphi$ 9.54 352
Red. auf t = 0° + 13 Temp. Koeff. = 16.3
**korr. log sin $\varphi_0$ 9.54 365**

| | | |
|---|---|---|
| | log $C_0$ | = 9.58 915 |
| | Korr. Indukt. | + 13 |
| | | 9.58 928 |
| — | $^1/_2$ log sin $\varphi_0$ | 9.77 182 |
| — | log $T_0$ | 0.69 481 |
| | log H | = 9.12 265 |

**H = 0.13 263**

M = 900.6 Magnetisches Moment von Magnet 22 bei 0°.

# Magnet 32.

## Schwingungen

Zeit $7^h$ 6—35 a. m. Zeit $1^h$ 16—29 p. m.

100 Schwingungsdauern.

| Bez. 0 | Bez. 0 | Bez. 0 | Bez. 0 |
|---|---|---|---|
| $8^m$ 4.7$^s$ | 8 4.9 | *8 3.15* | 8 3.5 |
| 4.8 | 4.6 | *3.4* | 3.0 |
| 5.0 | 4.8 | *2.9* | 3.3 |
| 4.7 | 4.8 | *2.9* | 3.3 |
| 4.9 | 4.7 | *2.8* | 3.5 |
| 4.9 | 4.6 | *2.45* | 4.3 |
| 4.7 | 5.0 | *2.3* | 3.4 |
| 4.9 | 4.6 | *2.4* | 3.4 |
| 4.9 | 4.9 | *2.0* | 3.5 |
| 4.8 | 4.9 | *2.0* | 3.45 |
| 5.0 | 4.7 | *1.85* | 3.4 |
| 5.1 | 5.1 | *1.9* | 2.7 |
| 4.9 | 4.7 | *1.5* | 3.3 |
| 4.5 | 5.0 | *1.3* | 3.35 |
| 4.8 | 4.7 | *1.3* | 3.4 |
| 4.8 | 4.8 | *1.4* | 3.4 |
| 4.9 | 4.9 | *0.9* | 3.4 |
| 4.6 | 4.9 | *1.2* | 3.25 |
| 5.0 | 4.6 | *0.9* | 3.45 |
| 4.8 | 4.9 | *0.6* | 3.4 |
| | 4.6 | | |
| Mittel $8^m$ 4.83$^s$ | 8 4.80 | | 8 3.39 |
| t 2.83° | 3.17 | ein Härchen | 5.60 |
| h 2.3p | 2.3 | vom Bock | 3.2 |
| T 4.8483$^s$ | 4.8480 | streift am | 4.8339 |
| log T 0.68 559 | 0.68 556 | Magneten! | 0.68 430 |
| Red. auf 0° — 21 | — 23 | | + 38 |
| log $T_0$ 0 68 538 | 0.68 533 | | 0.68 468 (doppeltes Gewicht) |

**Korrektionen**

Torsion

Skalenwert 1 p = 30.89′

Korrektion abgeleitet aus der Bestimmung mit Magnet 22

$^1/_2$ log (1 + γ) = 26 $\frac{\sin \varphi_{22}}{\sin \varphi_{32}}$ = . . . . . + 25

Unendlich kl. Bogen

mittl. h = 2.6p

= 1.3° . . . . . — 1

Uhrgang

Δs = + 8$^s$ . . . . . + 4

Temperatur

Koeffizient für Reduktion von { + 2°.83 auf 0° = 7.3; + 3.17 0° = 7.3; — 5.60 0° = 6.8

Σ Korr. + 28

Mittl. log $T_0$ = 0.68 502

Σ Korr. + 28

**korr. log $T_0$ = 0.68 530**

## Ablenkungen

### Entfernung $e_a$.

Zeit $9^h\ 43$—$10^h\ 25$ a. m.

Bez. 0

$V_1$ 21° 12.72′
$V_2$ 21 25.63 $\varphi$ = 21° 24.04′
$V_3$ 338 28.53 m = 179 55.14
$V_4$ 338 33.68
t = + 1.13°
$V_0$ 179° 50.43′

log sin $\varphi$ 9.56 216
Red. auf t = 0° + 17 Temp. Koeff. = 15.3
**korr. log sin$\varphi_0$ 9.56 233**

---

| | | |
|---|---|---|
| | log $C_0$ | = 9.58 890 |
| | Korr. Indukt. | + 13 |
| | | 9.58 903 |
| — ½ | log sin $\varphi_0$ | 9.78 116 |
| — | log $T_0$ | 0.68 530 |
| | log H | = 9.12 257 |

**H = 0.13 261**

M = 940.6 Magnetisches Moment von Magnet 32 bei 0°.

Bemerkung: Bei der Bestimmung der Schwingungsweite am Schluß des dritten Schwingungssatzes von Magnet 32 fiel die ungewöhnlich starke Abnahme derselben auf. Beim Nachsehen der Aufhängung zeigte es sich, daß ein einzelnes Härchen vom Bock des Schwingungskastens (s. Tafel I Fig. 5) am Magneten streifte. Die Reihe ist natürlich von der weiteren Verwendung ausgeschlossen; aber es ist interessant zu sehen, wie die kleine Hemmung wirkt: sie vermindert zwar die Amplitude, aber sie beschleunigt dabei die Schwingungen.

## Beobachtungen vom 3. April 1902.

Ort: Das erste absolute Observatorium der „Gauss"-Station auf der magnetischen Scholle.

Zeit: Mittlere Ortszeit. Schwingungen nach Sternzeitchronometer Bröcking 1183.

Bemerkung: Variations-Observatorium im Betrieb. Beobachtung soll die beiden Magnettheodoliten aneinander anschließen.

Zwischen $V_2$ und $V_3$ fällt Magnet aus völlig erstarrter Hand zu Boden.

# Magnet 22.

## Schwingungen

| Zeit $3^h$ 25—56 p. m. 100 Schwingungsdauern. | | Zeit $5^h$ 48—$6^h$ 17 p. m. 98 Schw.-D. | 100 Schw.-D. |
|---|---|---|---|
| Bez. 0 | Bez. 0 | Bez. 0 | Bez. 0 |
| $8^m$ 14.6$^s$ | 8 14.4 | 8 4.3 | 8 13.8 |
| 4.1 | 4.15 | 4.1 | 3.65 |
| 4.4 | 4.0 | 4.15 | 3.8 |
| 4.9 | 4.1 | 4.2 | 3.8 |
| 4.65 | 4.4 | 4.35 | 3.65 |
| 4.2 | 4.15 | 4.3 | 3.55 |
| 4.6 | 4.15 | 4.3 | 3.7 |
| 4.75 | 4.15 | 4.35 | 3.8 |
| 4.35 | 4.2 | 4.3 | 3.85 |
| 4.5 | 4.2 | 4.45 | 3.75 |
| 4.5 | 4.15 | 4.5 | 3.9 |
| 4.5 | 3.8 | 4.35 | 3.5 |
| 4.6 | 4.1 | 4.4 | 3.85 |
| 4.65 | 4.0 | 4.3 | 4.1 |
| 4.65 | 4.2 | 4.4 | 3.8 |
| 4.5 | 3.95 | 4.1 | 3.8 |
| 4.35 | 4.05 | 4.5 | 3.9 |
| 4.7 | 4.3 | 4.2 | 3.8 |
| 4.35 | 4.1 | 4.25 | 3.9 |
| 4.6 | 4.0 | | 3.8 |
| Mittel $8^m$14.52$^s$. | 8 14.13 | 8 4.31 | 8 13.79 |
| t 10.00° | 10.00 | 11.30 | 11.00 |
| h 3.5$^p$ | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| T 4.9452 | 4.9413 | 4.9419 | 4.9379 Sternzeit |
| log T 0.69 300 | 0.69 265 | 0.69 271 | 0.69 236 Mittl. Zeit |
| Red. auf — 10° 0 | 0 | + 7 | + 6 |
| log $T_{-10}$ 0.69 300 | 0.69 265 | 0.69 278 | 0.69 242 |

### Korrektionen

Torsion
Skalenwert 1p = 30.89′
nach der Bestimmung 27. II. 1902
Torsionskopf $\alpha$ = 360°
Skala $\theta$ = 0.14$^p$
$^1/_2$ log (1 + $\gamma$) . . . . . + 4

Unendl. kl. Bogen
mittl. h = 3.5$^p$
= 1.8° . . . . . — 3

Uhrgang
$\Delta s$ = 0$^s$ . . . . . 0

Temperatur
Koeffizient bei — 10.5° = 5.7

Σ Korr. + 1

Mittl. log $T_{-10}$ 0.69 271
Σ Korr. + 1
**korr. log $T_{-10}$ 0.69 272**

## Ablenkungen

Entfernung $e_3$.

Zeit $5^h$ 2—32 p. m
Bez. 0

$V_1$ 244° 40.84′
$V_2$ 244 51.34 $\varphi$ = 20° 33.56′
$V_3$ 203 39.83 m = 224 12.54
$V_4$ 203 38.13 = 223 43.5 (reduziert auf n = 40)
t = — 10.49°
$V_0$ (von a. m. reduz. auf n = 40) = 223° 40′

log sin $\varphi$ 9.54 552
Korr. Torsion — 5
Red. auf t = — 10° — 6 Temp. Koeff. = 12.2
**korr. log sin $\varphi_{-10}$ 9.54 541**

| | |
|---|---|
| log $C_{-10}$ = | 9.58 9.18 |
| Korr. Indukt. | + 13 |
| | 9.58 931 |
| — ½ log sin $\varphi_{-10}$ | 9.77 270 |
| — log $T_{-10}$ | 0.69 272 |
| log H = | 9.12 389 |

**H = 0.13 301**

M = 902.1 Magnetisches Moment von Magnet 22 bei 0°.

Bemerkung: Die Variationen (vgl. Bd. VI) sind hier nur dazu benützt, um die Nadelaufhängung bei den Ablenkungen auf ihre etwaige Torsion zu prüfen. Der Vergleich des auf denselben Stand des Deklinationsvariometers $n=40$ reduzierten Mittellage $m$ und $V_0$-Lage von a. m. zeigt, daß, wenn überhaupt, nur eine geringe Torsionskorrektion erforderlich ist. Wahrscheinlich kommt die Differenz der beiden reduzierten Werte von einem kleinen Momentsprung beim Herabfallen des Magneten her (s. o.).

Da dieses Herabfallen zufällig genau in der Mitte nicht nur der Ablenkungen, sondern der ganzen Messung überhaupt erfolgte, wird im Resultat der Wert $H$ wohl nicht davon berührt werden, der Wert des magnetischen Moments, wie ein Vergleich zeigt, nur in geringem Maße.

---

### Beobachtungen vom 7.—10. Januar 1903.

Der eigentliche Zweck dieser Beobachtungen am Schluß unseres Stationsjahres war eine eingehende Untersuchung der Trägheitsmomente, welche vor der Reise nur ganz flüchtig hatte vorgenommen werden können, um für alle Fälle mit ausreichendem Beobachtungsmaterial versehen zu sein. Wie wir sehen werden, war die Konstanz des Instruments während der ganzen Reise eine ausgezeichnete, so daß wir es später vorzogen, die Instrumentalkonstante $C$ nicht aus ihren einzelnen Stücken zu berechnen, sondern durch die Potsdamer Beobachtungen mit gegebenem $H$ zu ermitteln. Die Schwingungen mit Stab sind daher nicht weiter verwendet und hier unterdrückt. Zu Anfang und zu Ende der ganzen Untersuchung wurden ausführliche Ablenkungsmessungen vorgenommen; wegen der fortwährenden, starken Sommervariationen fassen wir alle Beobachtungen dieser Tage zu einer Bestimmung eines mittleren $H$ zusammen.

Ort: Zweites Absolutes Observatorium der Gauss-Station, Eishöhle im Pinguinberg.

Zeit: Mittlere Ortszeit. Schwingungen nach Sternzeit-Chronometer Bröcking 1333.

Bemerkung: Eisberg schwankt regelmäßig in der Dünung, Amplitude der Neigung etwa 12—15″. Der Wind pfeift durch das Dach dessen Unterlagen von der Sonne zerfressen sind.

## Magnet 22.

### Ablenkungen

7. Januar 10h 28—11h 30 a. m.

Entfernung $e_2$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bez. o | | | |
| $V_1$ | 89° 48.78′ | | |
| $V_2$ | 90 5.53 | $\varphi$ = 23° 27.42′ | |
| $V_3$ | 43 0.97 | m = 66 29.64 | |
| $V_4$ | 43 3.25 | | |
| t = + 1.65° | | mittl. $\varphi$ = 23° 27.86′ | |
| | | mittl. m = 66 30.5 | |
| Bez. u nächste Seite | | red. $_{n=20}$ | 66 37 |

Entfernung $e_3$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bez. o | | | |
| $V_1$ | 86° 49.26′ | | |
| $V_2$ | 87 2.68 | $\varphi$ = 20° 20.16′ | |
| $V_3$ | 46 14.75 | m = 66 35.82 | |
| $V_4$ | 46 16.57 | | |
| t = + 2.34° | | mittl. $\varphi$ = 20° 20.03′ | |
| | | mittl. m = 66 34.7 | |
| Bez. u nächste Seite | | red. $_{n=20}$ | 66 37 |

Bez. u

$V_1$ 89° 52.40′
$V_2$ 90 6.78 $\varphi = 23° 28.19'$
$V_3$ 43 2.72 $m = 66\ 31.41$
$V_4$ 43 3.72
$t = +1.90°$

Bez. u

$V_1$ 86° 47.19′
$V_2$ 86 59.94 $\varphi = 20° 19.90'$
$V_3$ 46 12.98 $m = 66\ 33.66$
$V_4$ 46 14.55
$t = +2.16°$

$v_0$ für $n = 20$ 66° 37.0′

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| log sin φ | 9.60 008 | | log sin φ | 9.54 094 |
| Red. auf t = 0° | + 29 | Temp. Koeff. = 16.4 | Red. auf t = 0° | + 37 |
| **korr. log sin $\varphi_0$** | **= 9.60 037** | | **korr. log sin $\varphi_0$** | **= 9.54 131** |

## Schwingungen

7. Jan. $5^h$ 42—$6^h$ 24 p. m. 8. Jan. $4^h$ 20—$5^h$ p. m. 9. Jan. $10^h$ 52—$11^h$ 25 a. m.

100 Schwingungsdauern.

| Bez. o | Bez. u | Bez. o | Bez. u | Bez. o | Bez. u |
|---|---|---|---|---|---|
| $8^m$ 11.7$^s$ | 8 12.0 | 8 12.35 | 8 11.95 | 8 12.6 | 8 12.7 |
| 1.6 | 1.95 | 2.35 | 2.0 | 2.4 | 2.55 |
| 1.8 | 1.9 | 2.15 | 1.85 | 2.85 | 2.6 |
| 1.7 | 1.85 | 2.4 | 1.9 | 2.6 | 2.6 |
| 1.75 | 1.85 | 2.15 | 1.95 | 2.85 | 2.7 |
| 1.65 | 1.95 | 2.3 | 2.0 | 2.6 | 2.75 |
| 1.7 | 1.9 | 2.1 | 1.9 | 2.85 | 2.65 |
| 1.7 | 2.0 | 2.2 | 2.1 | 2.5 | 2.9 |
| 1.7 | 2.0 | 2.1 | 2.0 | 2.7 | 2.6 |
| 1.6 | 1.95 | 2.2 | 2.0 | 2.7 | 2.65 |
| 1.7 | 2.0 | 2.3 | 1.85 | 2.5 | 2.8 |
| 1.6 | 2.0 | 2.1 | 2.1 | 2.8 | 2.7 |
| 1.7 | 2.0 | 2.25 | 1.9 | 2.7 | 2.7 |
| 1.8 | 1.75 | 2.3 | 2.0 | 2.7 | 2.5 |
| 1.65 | 2.0 | 2.4 | 2.15 | 2.5 | 2.9 |
| 1.6 | 1.8 | 2.1 | 2.0 | 2.7 | 2.6 |
| 1.7 | 1.9 | 2.3 | 2.15 | 2.6 | 2.8 |
| 1.7 | 1.9 | 2.2 | 2.0 | 2.8 | 2.5 |
| 1.75 | 1.95 | 2.3 | 2.1 | 2.5 | 2.8 |
| 1.7 | 1.8 | 2.1 | 2.0 | 2.7 | 2.7 |
| 1.6 | | | | | |
| Mittel $8^m$11.69$^s$ | 8 11.92 | 8 12.23 | 8 12.00 | 8 12.66 | 8 12.69 |
| t 4.10° | 4.13 | 1.63 | 1.95 | 1.73 | 2.00 |
| h 2.7p | 3.0 | 3.6 | 4.0 | 2.6 | 3.7 |
| T 4.9169$^s$ | 4.9192 | 4.9223 | 4.9200 | 4.9266 | 4.9269 Sternzeit |
| log T 0.69 050 | 0.69 071 | 0.69 098 | 0.69 078 | 0.69 136 | 0.69 139 mittl. Zeit |
| Red.a.0° — 32 | — 32 | — 13 | — 15 | — 13 | — 15 |
| log $T_0$ 0.69 018 | 0.69 039 | 0.69 085 | 0.69 063 | 0.69 123 | 0.69 124 |

### Korrektionen

**Torsion**
Skalenwert 1p = 33.30′
Torsionskopf $\alpha = 180°$
Skala $\theta = 3.86p$
$\frac{1}{2} \log (1+\gamma)$ . . . . . + 261

**Unendl. kl. Bogen**
mittl. h = 3.2p
= 1.8° . . . . — 3

**Uhrgang**
$\Delta s = +3^s$ . . . . . + 2

**Temperatur**
Koeffizient bei + 2° = 7.8
bei + 1° = 7.7

Σ Korr. + 260

mittl. log $T_0$ = 0.69 075
Σ Korr. = + 260
**korr. log $T_0$ 0.69 335**

### Ablenkungen

10. Januar $10^h$ 35—$11^h$ 30 a. m.

**Entfernung $e_2$**

Bez. o
$V_1$ 89° 46.57′
$V_2$ 90 1.72 φ = 23° 25.34′
$V_3$ 43 8.17 m = 66 28.82
$V_4$ 42 58.78
t = + 2.81°

mittl. φ = 23° 26.14′
mittl. m = 66 28.3
red. $_{n=20}$ 66 38

Bez. u
$V_1$ 89° 48.45′
$V_2$ 90 1.06 φ = 23° 26.93′
$V_3$ 43 3.46 m = 66 27.83
$V_4$ 42 58.32
t = + 2.85°

**Entfernung $e_3$**

Bez. o
$V_1$ 86° 51.37′
$V_2$ 87 1.83 φ = 20° 21.10′
$V_3$ 46 16.18 m = 66 35.50
$V_4$ 46 12.59
t = + 3.05°

mittl. φ = 20° 18.83′
mittl. m = 66 33.6
red. $_{n=20}$ 66° ca. 37′

Bez. u
$V_1$ 86° 41.60′
$V_2$ 86 54.90 φ = 20° 16.55′
$V_3$ 46 15.59 m = 66 31.71
$V_4$ 46 14.73
t = + 3.00°

$v_0$ = 66° 37 für n = 20

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| log sin φ | 9.59 958 | Temp. Koeff. 16.6 | log sin φ | 9.54 053 |
| Red. auf t = 0° | + 47 | | Red. auf t = 0° | + 50 |
| **korr. log sin $\varphi_0$** | **= 9.60 005** | | **korr. log sin $\varphi_0$** | **= 9.54 103** |

| **korr. log sin $\varphi_0$** | | **korr. log sin $\varphi_0$** | |
|---|---|---|---|
| 7. Jan. | 9.60 037 | 7. Jan. | 9.54 131 |
| 10. Jan. | 005 | 10. Jan. | 103 |
| **Mittel** | **9.60 021** | **Mittel** | **9.54 117** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| log $C_0$ | 9.61 861 | log $C_0$ | 9.58 915 |
| Korr. Indukt. | + 13 | Korr. Indukt. | + 13 |
| | 9.61 874 | | 9.58 928 |
| — ½ log sin $\varphi_0$ | 9.80 010 | — ½ log sin $\varphi_0$ | 9.77 058 |
| — log $T_0$ | 0.69 335 | — log $T_0$ | 0.69 335 |
| log H | = 9.12 529 | log H | = 9.12 535 |
| **H** | **= 0.13 344** | **H** | **= 0.13 346** |

M = 901.1 Magnetisches Moment von Magnet 22 bei 0°.

## Magnet 32.

### Ablenkungen

7. Januar $9^h$ 13—$10^h$ 16 a. m.

**Entfernung $e_2$**

Bez. o
$V_1$ 90° 52.14′
$V_2$ 91 6.32 φ = 24° 31.25′
$V_3$ 41 53.83 m = 66 27.98
$V_4$ 41 59.63
t = + 1.75°

mittl. φ = 24° 32.10′
mittl. m = 66 29.6
red. $_{n=20}$ 66 38

Bez. u
nächste Seite

**Entfernung $e_3$**

Bez. o
$V_1$ 87° 32.44′
$V_2$ 87 44.88 φ = 21° 13.56′
$V_3$ 45 8.84 m = 66 25.10
$V_4$ 45 14.24
t = + 1.45°

mittl. φ = 21° 14.78′
mittl. m = 66 27.8
red. $_{n=20}$ 66 37

Bez. u
nächste Seite

| Bez. u | | Bez. u | |
|---|---|---|---|
| $V_1$ | 90° 58.27′ | $V_1$ | 87° 44.07′ |
| $V_2$ | 91 9.95 $\varphi$ = 24° 32.94′ | $V_2$ | 87 49.24 $\varphi$ = 21° 16.00′ |
| $V_3$ | 41 56.29 m = 66 31.18 | $V_3$ | 45 12.89 m = 66 30.66 |
| $V_4$ | 42 0.19 | $V_4$ | 45 16.43 |
| t = + 1.66° | | t = + 1.54° | |

$v_0$ 66° 37′ red.$_{n = 20}$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.61831 | | log sin $\varphi$ | 9.55916 |
| Red. auf t = 0° | + 26 | Temp. Koeff. = 15.3 | Red. auf t = 0° | + 23 |
| **korr. log sin $\varphi_0$** | **9.61 857** | | **korr. log sin $\varphi_0$** | **9.55 939** |

## Schwingungen.

| 9. Januar $9^h$ 8—$10^h$ 0 a. m. 100 Schwingungsdauern. | | 9. Januar $5^h$ 13—$5^h$ 45 p. m. 100 Schw.-D. | | 50 Schw.-D. |
|---|---|---|---|---|
| Bez. o | Bez. u | Bez. u | Bez. o | Bez. o |
| $8^m$ 3.25$^s$ | 8 2.9 | 8 1.15 | 8 1.6 | 4 0.7 |
| 2.7 | 2.55 | 1.2 | 1.4 | 0.9 |
| 3.0 | 3.0 | 1.3 | 1.5 | 0.8 |
| 2.85 | 2.6 | 1.25 | 1.25 | 0.75 |
| 3.15 | 2.9 | 1.1 | 1.35 | 0.6 |
| 2.75 | 2.7 | 1.25 | 1.5 | 0.6 |
| 3.0 | 2.9 | 1.2 | 1.5 | 0.75 |
| 2.65 | 2.65 | 1.2 | 1.45 | 0.7 |
| 2.9 | 2.9 | 1.45 | 1.45 | 1.0 |
| 2.9 | 2.65 | 1.3 | 1.7 | 0.8 |
| 2.85 | 2.85 | 1.1 | 1.4 | 0.75 |
| 2.9 | 2.9 | 1.35 | 1.45 | 0.6 |
| 2.8 | 2.75 | 1.4 | 1.45 | 0.7 |
| 2.9 | 2.8 | 1.3 | 1.45 | 0.55 |
| 2.9 | 3.0 | 1.2 | 1.2 | 0.4 |
| 2.8 | 2.9 | 1.1 | 1.4 | 0.5 |
| 2.9 | 2.7 | 1.45 | 1.3 | 0.7 |
| 2.6 | 2.9 | 1.2 | 1.5 | 0.9 |
| 3.0 | 2.6 | 1.25 | 1.2 | 0.6 |
| 2.8 | 2.8 | 1.4 | 1.2 | 0.6 |
| 2.9 | | 1.3 | 1.35 | 0.55 |
| | | 1.4 | 1.25 | 0.55 |
| | | | 1.4 | 0.75 |
| | | | 1.4 | 0.5 |
| | | | | 0.85 |
| Mittel $8^m$2.88$^s$ | 8 2.80 | 8 1.27 | 8 1.40 | 4 0.68 |
| t + 1.78° | 2.40 | 1.38 | 1.30 | 1.33 |
| h 3.6 p | 3.3 | 3.7 | 4.7 | 4.2 |
| T 4.8288$^s$ | 4.8280 | 4.8127 | 4.$^8$140 | 4.8136 Sternzeit |
| log T 0.68265 | 0.68258 | 0.68120 | 0.68132 | 0.68128 mittl. Zeit |
| Red. a. 0° — 13 | — 17 | — 10 | — 9 | — 10 |
| log $T_0$ 0.68252 | 0.68241 | 0.68110 | 0.68123 | 0.68118 |

**Korrektionen.**

Torsion
- Skalenwert 1 p = 33.30′
- Torsionskopf $\alpha$ = 180°
- Skala $\theta$ = 3.59 p
- $\frac{1}{2}$ log (1 + $\gamma$) . . . . . + 243

Unendl. kl. Bogen
- mittl. h = 3.9 p
- = 2.2° . . . . . — 4

Uhrgang
- $\Delta s$ = + 2$^s$ . . . . . + 1

Temperatur
- Koeffizient bei 1° = 7.2

Σ Korr. + 240

Mittl. log $T_0$ 0.68169
Σ Korr. + 240
**korr. log $T_0$ 0.68409**

## Ablenkungen.

10. Januar $9^h$ 30—$10^h$ 25 a. m.

### Entfernung $e_2$

Bez. o

$V_1$ 90° 43.28′
$V_2$ 90 51.27 $\varphi$ = 24° 31.70′
$V_3$ 41 47.14 m = 66 15.59
$V_4$ 41 40.63
t = + 2.69°

mittl. $\varphi$ = 24° 31.46′
mittl. m = 66 7.9
red.$_{n=20}$ 66 37

Bez. u

$V_1$ 90° 22.38′
$V_2$ 90 40.53 $\varphi$ = 24° 31.22′
$V_3$ 41 25.22 m = 66 0.24
$V_4$ 41 32.82
t = +2.60°

### Entfernung $e_3$

Bez. o

$V_1$ 87° 0.50′
$V_2$ 87 5.64 $\varphi$ = 21° 20.93′
$V_3$ 44 19.39 m = 65 42.14
$V_4$ 44 23.02
t = + 2.14°

mittl. $\varphi$ = 21° 22.46′
mittl. m = 65 45
red.$_{n=20}$ 66 35

Bez. u

$V_1$ 87° 10.81′
$V_2$ 87 13.27 $\varphi$ = 21° 23.98′
$V_3$ 44 20.85 m = 65 48.07
$V_4$ 44 27.32
t = + 2.49°

$v_0$ 66.37° red.$_{n=20}$

Temp. Koeff. = 15.3

| | |
|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.61 813 |
| Red. auf t = 0° | + 41 |
| **korr. log sin $\varphi_c$** | **9.61 854** |

| | |
|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.56165 |
| Red. auf t = 0° | + 35 |
| **korr. log sin $\varphi_0$** | **9.56 200** |

| **korr. log sin $\varphi_0$** | | |
|---|---|---|
| 7. Jan. | 9.61 857 | |
| 10. Jan. | 9.61 854 | |
| **Mittel** | **9.61 856** | |
| log $C_0$ | 9.61 830 | |
| Korr. Indukt. | + 13 | |
| | 9.61 843 | |
| — ½ log sin $\varphi_0$ | 9.80 928 | |
| — log $T_0$ | 0.68 409 | |
| log H = | 9.12 506 | |
| **H = 0.13 337** | | |

| **korr. log sin $\varphi_0$** | | Gewicht |
|---|---|---|
| 7. Jan. | 9.55 939 | 2 |
| 10. Jan. | 9.56 200 | 1 Starke Variationen |
| **Mittel** | **9.56026** | |
| log $C_0$ | 9.58 890 | |
| Korr. Indukt. | + 13 | |
| | 9.61 903 | |
| — ½ log sin $\varphi_0$ | 9.78 013 | |
| — log $T_0$ | 0.68 409 | |
| log H = | 9.12 481 | |
| **H = 0.13 329** | | |

M = 941.0 Magnetisches Moment von Magnet 32 bei 0°.

Bemerkung: Die zur Verfügung stehenden, vollständigen Variationen werden in Band VI verarbeitet. Sie sind hier nur zur Untersuchung der Torsionsfreiheit der Nadelaufhängung bei den Ablenkungen benutzt; deshalb ist die Reduktion der verschiedenen Ruhelagen $v_0$ und Mittellagen $m$ auf denselben Stand des Deklinations-Variometers angegeben, wodurch die Torsionsfreiheit erwiesen ist.

Die Variationen sind, wie überhaupt im antarktischen Sommer, andauernd stark und unregelmäßig; so wurde der letzten Ablenkungsbeobachtung von Magnet 32, welche auf einen stark ausnahmsweisen Stand des *H*-Variometers fällt, für unsere Zwecke nur halbes Gewicht erteilt.

## § 29. Simonstown, Kaphalbinsel.

Ort: Auf der „Rifle Range“, in einem Busch ungefähr 200 m südöstlich von der Offiziers-Baracke der britischen Marine.

Zeit: Mittlere Kapzeit (=Mittlere Greenwich-Zeit + $1^h 30^m$). Schwingungen nach Sternzeitchronometer BRÖCKING 1333.

Bemerkung: Bei den Schwingungen von Magnet 32 Beleuchtung bereits sehr schlecht.

## Beobachtungen vom 21. Juni 1903.

## Magnet 22.

### Schwingungen.

Zeit $2^h 20$—$2^h 52$ p.m.
100 Schwingungsdauern.

| Bez. o | Bez. u |
|---|---|
| $7^m$ 5.1$^s$ | 7 5.1 |
| 5.1 | 5.0 |
| 5.0 | 5.1 |
| 5.1 | 5.0 |
| 4.9 | 5.0 |
| 5.0 | 5.1 |
| 4.9 | 5.0 |
| 5.1 | 5.0 |
| 4.9 | 4.9 |
| 5.1 | 5.1 |
| 5.05 | 5.1 |
| 5.1 | 5.0 |
| 4.8 | 4.9 |
| 4.9 | 5.1 |
| 5.0 | 5.1 |
| 5.1 | 5.1 |
| 5.0 | 5.1 |
| 5.0 | 5 0 |
| 5.1 | 5.0 |
| 5.2 | 5.05 |
| Mittel $7^m$ 5.02$^s$ | 7 5.04 |
| t 15.05° | 14.75 |
| h 2.1p | 2.1 |
| T 4.2502 | 4.2504 Sternzeit |
| log T 0.62 722 | 0.62 724 mittl. Zeit |
| Red. auf 10° — 49 | — 46 |
| log $T_{10}$ 0.62 673 | 0.62 678 |

**Korrektionen**

Torsion

Korr. abgeleitet aus der Bestimmung von Magnet 32

$\frac{1}{2} \log (1 + \gamma) = 54 \frac{\sin \varphi_{32}}{\sin \varphi_{22}}$ . . . + 56

Unendl. kl. Bogen

h = 1° . . . . . — 1

Uhrgang

$\Delta s = +3^s$ . . . . . + 2

Temperatur

Koeffizient bei 12°.5 = 9.7

Σ Korr. + 57

| | |
|---|---|
| Mittl. log $T_{10}$ | 0.62 676 |
| Σ Korr. | + 57 |
| **korr. log $T_{10}$** | **0.62 733** |

### Ablenkungen.

Zeit $11^h 45$ a. m. — $1^h 0$ p. m.

Entfernung $e_1$

Bez. o

$v_1$ 297° 2.02′
$v_2$ 297 2.59 φ = 46° 24.28′
$v_3$ 29 27.22 m = 163 26.59
$v_4$ 30 14.52
t = 13.11° mittl. φ = 46° 25.57′
mittl. m = 163 27.52

Bez. u

$v_1$ 297° 1.02′
$v_2$ 297 2.15 φ = 46° 26.86′
$v_3$ 29 31.68 m = 163 28.45
$v_4$ 30 18.94
t = 13.25°

$v_0$ = 162° 50.1′

$v_0$ = 162° 52.15′

Entfernung $e_3$

Bez. o

$V_1$ 328° 15.75′
$V_2$ 328 15.89 φ = 14° 36.82′
$V_3$ 357 25.47 m = 162 52.64
$V_4$ 357 33.42
t = 13.38° mittl. φ = 14° 37.02′
mittl. m = 162 53.06

Bez. u

$V_1$ 328° 16.36′
$V_2$ 328 16.15 φ = 14° 37.21′
$V_3$ 357 26.38 m = 162 53.48
$V_4$ 357 34.99
t = 13.25°

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.86 003 | | log sin $\varphi$ | 9.40 201 |
| Korr. Torsion | — 26 | Temp. Koeff. 20.6 | Korr. Torsion | — 13 |
| Red. auf t = 10° | + 66 | | Red. auf t = 10° | + 68 |
| korr. log sin $\varphi_{10}$ | 9.86 043 | | korr. log sin $\varphi_{10}$ | 9.40 256 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| log $C_{10}$ | 9.81 808 | | log $C_{10}$ | 9.58 909 |
| Korr. Indukt. | + 1 | | Korr. Indukt. | + 1 |
| | 9.81 809 | | | 9.58 910 |
| — ½ log sin $\varphi_{10}$ | 9.93 022 | | — ½ log sin $\varphi_{10}$ | 9.70 128 |
| — log $T_{10}$ | 0.62 733 | | — log $T_{10}$ | 0.62 733 |
| log H | 9.26 054 | | log H | 9.26 049 |
| **H = 0.18 220** | | | **H = 0.18 218** | |

M = 899.5 Magnetisches Moment von Magnet 22 bei 0°.

# Magnet 32.

## Schwingungen.

Zeit $4^h$ 5—35 p. m.
96 Schwingungsdauern.

| Bez. o | Bez. u |
|---|---|
| $6^m$ 36.7$^s$ | 6 38.7 |
| 6.5 | 8.6 |
| 6.6 | 8.75 |
| 6.7 | 8.6 |
| 6.7 | 8.9 |
| 6.5 | 8.75 |
| 6.6 | 8.65 |
| 6.4 | 8.3 |
| 6.7 | 8.6 |
| 6.55 | 8.8 |
| 6.7 | 8.6 |
| 6.5 | 8.9 |
| 6.7 | 8.6 |
| 6.6 | 8.5 |
| 6.8 | 8.65 |
| 6.7 | 8.7 |
| 6.6 | 8.8 |
| 6.65 | 8.7 |
| 6.7 | 8.8 |
| | 8.7 |
| Mittel $6^m$ 36.63$^s$ | 6 38.68 |
| t 10.65° | 10.50 |
| h 2.0p | 2.0 |
| T 4.1316$^s$ | 4.1529 Sternzeit |
| log T 0.61 493 | 0.61 717 mittl. Zeit |
| Red. auf 10° — 5 | — 4 |
| log $T_{10}$ 0.61 488 | 0.61 713 |

verworfen (s. u.)

**Korrektionen**

Torsion
Skalenwert 1 p = 31.37′
Torsionskopf $\alpha$ = 180°
Skala $\theta$ = 0.86 p
½ log (1 + $\gamma$) . . . . . + 54

Unendl. kl. Bogen
mittl. h = 2.0 p = 1° . . . . . — 1

Uhrgang
$\Delta s$ = + 3$^s$ . . . . . + 2

Temperatur
Koeffizient bei 10° = 8.3

Σ Korr. + 55

| | | |
|---|---|---|
| Mittl. log $T_{10}$ | 0.61 766 | (s. u.) |
| Σ Korr. | + 55 | |
| **korr. log $T_{10}$** | **0.61 821** | |

## Ablenkungen.

Zeit $10^h20$—$11^h40$ a. m.

### Entfernung $e_1$

Bez. o

$v_1$ 294° 30.59′
$v_2$ 294 38.10 φ = 49° 1.37′
$v_3$ 32 15.80 m = 163 35.72
$v_4$ 32 58.39
t = 11.65°

mittl. φ = 49° 1.11′
Bez. u mittl. m = 163 34.64

$v_1$ 294° 28.50′
$v_2$ 294 36.93 φ = 49° 0.48′
$v_3$ 32 13.32 m = 163 33.56
$v_4$ 32 55.47
t = 12.66°

$v_0$ 162° 53.2′

$\bar{v}_0$ 162° 50.1′

| | |
|---|---|
| log sin φ | 9.87 790 |
| Korr. Torsion | — 30 |
| Red. auf 10° | + 40 |
| **korr. log sin $\varphi_{10}$** | **9.87 800** |

| | |
|---|---|
| log $C_{10}$ | 9.81 781 |
| Korr. Indukt. | + 1 |
| | 9.81 782 |
| — ½ log sin $\varphi_{10}$ | 9.93 900 |
| — log $T_{10}$ | 0.61 821 |
| log H | 9.26 061 |

**H = 0.18 223**

### Entfernung $e_3$

Bez. o

$V_1$ 327° 38.67′
$V_2$ 327 40.46 φ = 15° 14.81′
$V_3$ 358 5.96 m = 162 54.38
$V_4$ 358 12.42
t = 11.54°

mittl. φ = 15° 14.57′
Bez. u mittl. m = 162 53.89

$V_1$ 327° 38.59′
$V_2$ 327 39.55 φ = 15° 14.33′
$V_3$ 358 4.67 m = 162 53.40
$V_4$ 358 10.76
t = 12.20°

Temp. Koeff. 18.3

| | |
|---|---|
| log sin φ | 9.41 981 |
| Korr. Torsion | — 14 |
| Red. auf 10° | + 34 |
| **korr. log sin $\varphi_{10}$** | **9.42 001** |

| | |
|---|---|
| log $C_{10}$ | 9.58 881 |
| Korr. Indukt. | + 1 |
| | 9.58 882 |
| — ½ log sin $\varphi_{10}$ | 9.71 000 |
| — log $T_{10}$ | 0.61 821 |
| log H | 9.26 061 |

**H = 0.18 223**

M = 936.8 Magnetisches Moment von Magnet 32 bei 0°.

Die Schwingungen von Magnet 32 sind offenbar fehlerhaft; denn nicht nur zeigen die beiden Reihen unter sich einen ganz unmöglichen Unterschied, sondern ergeben auch verglichen mit den gut stimmenden Reihen von Magnet 22 ein ganz außergewöhnliches Verhältnis der Schwingungsdauern von Magnet 22 und 32. Aus der obigen Bemerkung über die bereits sehr schlechte Beleuchtung bei diesen Schwingungen schließe ich, daß beim Einlegen ein Härchen vom Bock am Magneten Bez. o haften blieb und wegen der Dunkelheit der üblichen Prüfung daraufhin entging. Damit würde die Beobachtung vom 27. Februar 1902 auf der Gauss-Station (Magnet 32) stimmen, wo derselbe Fall direkt beobachtet wurde und eine Beschleunigung der Schwingungen von derselben Größenordnung ergab; nur scheint dort das Härchen während der Messung sich angelegt zu haben, während es hier von Haus aus die Schwingungen mitmachte, und zwar viel stärker bei der Lage Bez. o, als bei Bez. u.

Um nun die Ablenkungen von Magnet 32 nicht zu verlieren, wird die Schwingungsdauer aus den Beobachtungen von Magnet 22 mit Benützung der Erfahrungen der beiden ein-

schließenden Stationen abgeleitet. Die Differenz des auf dieselbe Temperatur reduzierten $\log T$ beider Magnete, nämlich $\log T_{22} - \log T_{32}$, ist:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Gauss-Station | Januar 03 | 0.00 906 | beobachtet |
| St. Helena | August 03 | 0.00 913 | „ |
| Simonstown | Juni 03 | 0.00 910 | angenommen |

Mit diesem Wert leiten wir aus dem beobachteten $\log T_{10}$ von Magnet 22 den unbekannten $\log T_{10}$ von Magnet 32 ab und finden dafür 0.61766. Der Vergleich der aus beiden Magneten danach folgenden $H$-Werte scheint die Richtigkeit dieses Verfahrens zu bestätigen.

### Die Beobachtungen vom 24. Juni 1903

sind, wie $1^1/_2$ Jahre zuvor, gleichzeitig mit Herrn Professor Morrison-Stellenbosch zur Vergleichung unserer beiden Instrumente angestellt (siehe § 26); das Resultat von Herrn Professor Morrison habe ich nicht erfahren.

Ort und Zeit wie am 21. Juni.

## Magnet 22.

### Schwingungen.

Zeit $9^h$ 40—$10^h$ 10 a. m.
100 Schwingungsdauern.

| | Bez. o | Bez. u | |
|---|---|---|---|
| | $7^m$ 4.25$^s$ | 7 4.6 | |
| | 4.1 | 4.3 | |
| | 4.3 | 4.35 | |
| | 4.3 | 4.45 | |
| | 4.4 | 4.3 | |
| | 4.2 | 4.4 | |
| | 4.4 | 4.4 | |
| | 4.4 | 4.5 | |
| | 4.3 | 4.25 | |
| | 4.35 | 4.5 | |
| | 4.55 | 4.45 | |
| | 4.35 | 4.3 | |
| | 4.2 | 4.3 | |
| | 4.2 | 4.25 | |
| | 4.5 | 4.5 | |
| | 4.25 | 4.55 | |
| | 4.35 | 4.35 | |
| | 4.4 | 4.3 | |
| | 4.4 | 4.45 | |
| | 4.4 | 4.25 | |
| Mittel | $7^m$ 4.33$^s$ | 7 4.39 | |
| t | 12.85° | 13.43 | |
| h | 3.1p | 2.3 | |
| T | 4.2433$^s$ | 4.2439 | Sternzeit |
| log T | 0.62 652 | 0.62 658 | mittl. Zeit |
| Red. auf 10° | — 27 | — 33 | |
| log $T_{10}$ | 0.62 625 | 0.62 625 | |

**Korrektionen**

Torsion
Skalenwert 1p = 33.16′
Torsionskopf $\alpha$ = 180°
Skala $\theta$ = 0.86p
$^1/_2 \log (1 + \gamma)$ . . . . . + 57 × $10^{-5}$

Unendl. kl. Bogen
mittl. h = 2.7 p = 1.5° . . . . . — 2

Uhrgang
$\Delta s = + 3^s$ . . . . . + 2

Temperatur
Koeffizient bei 11°.5 = 9.5

Σ Korr. + 57

| | |
|---|---|
| Mittl. log $T_{10}$ | 0.62 625 |
| Σ Korr. | + 57 |
| **korr. log $T_{10}$** | **0.62 682** |

## Ablenkungen.

Zeit $10^h$ 50—$11^h$ 45 a. m.

$v_0 = 295° 60.4'$

### Entfernung $e_1$

Bez. o

$v_1$ 250° 10.38'
$v_2$ 250 20.28 $\varphi$ = 46° 22.31'
$v_3$ 342 23.76 m = 296 37.64
$v_4$ 343 36.14
t = 13.90° mittl. $\varphi$ = 46° 21.69'
mittl. m = 296 37.04

Bez. u

$v_1$ 250° 10.35'
$v_2$ 250 20.38 $\varphi$ = 46° 21.06'
$v_3$ 342 21.45 m = 296 36.43
$v_4$ 343 33.53
t = 15.14°

$v_0 = 295° 57.6'$

### Entfernung $e_3$

Bez. o

$V_1$ 281° 24.64'
$V_2$ 281 26.77 $\varphi$ = 14° 35.99'
$V_3$ 310 31.97 m = 296 1.70
$V_4$ 310 43.38
t = 14.54° mittl. $\varphi$ = 14° 35.75'
mittl. m = 296 1.52

Bez. u

$V_1$ 281° 24.60'
$V_2$ 281 27.03 $\varphi$ = 14° 35.50'
$V_3$ 310 31.28 m = 296 1.33
$V_4$ 310 42.37
t = 14.80°

Temp. Koeff. = 20.6

| | |
|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.85 956 |
| Korr. Torsion | — 28 |
| Red. auf t = 10° | + 93 |
| **korr. log sin $\varphi_{10}$** | **9.86 021** |

| | |
|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.40 140 |
| Korr. Torsion | — 14 |
| Red. auf t = 10° | + 95 |
| **korr. log sin $\varphi_{10}$** | **9.40 221** |

| | |
|---|---|
| log $C_{10}$ | 9.81 808 |
| Korr. Indukt. | + 1 |
| | 9.81 809 |
| — ½ log sin $\varphi_{10}$ | 9.93 010 |
| — log $T_{10}$ | 0.62 682 |
| log H | 9.26 117 |
| **H = 0.18 246** | |

| | |
|---|---|
| log $C_{10}$ | 9.58 909 |
| Korr. Indukt. | + 1 |
| | 9.58 910 |
| — ½ log sin $\varphi_{10}$ | 9.70 110 |
| — log $T_{10}$ | 0.62 682 |
| log H | 9.26 118 |
| **H = 0.18 247** | |

M = 900.3 Magnetisches Moment von Magnet 22 bei 0°.

Der Unterschied unserer ermittelten *H*-Werte vom 21. und 24. Juni entspricht dem Sinn und der Größenordnung nach dem Gang der Variationen von *H*, wie sie in Südafrika zwischen den verschiedenen Tageszeiten unserer beiden Messungen üblich sind.

## § 30. St. Helena.

Ort: Longwood Plain, etwa 50 m nördlich von dem alten Observatorium, das James Clark Ross 1840 gegründet hat und das zurzeit als Dienstwohnung des britischen Offiziers der Longwood-Station dient; auf dem Gütchen des französischen Konsuls.

Zeit: Mittlere Ortszeit. Schwingungen nach Sternzeit-Chronometer Bröcking 1333.

## Beobachtungen vom 31. August 1903.

## Magnet 32.

### Schwingungen.

100 Schwingungsdauern.

| Zeit $6^h$ 38—$7^h$ 10 a. m. | | | Zeit $0^h$ 5—$0^h$ 30 p. m. | |
|---|---|---|---|---|
| Bez. o. | Bez. o. | Bez. u. | Bez. o. | Bez. u. |
| $6^m$ 6.08 | 6 6.1 | 6 6.0 | 6 7.4 | 6 7.45 |
| 6.0 | 6.05 | 6.05 | 7.4 | 7.5 |
| 6.1 | 6.0 | 6.0 | 7.35 | 7.45 |
| 6 05 | 5.95 | 6.1 | 7.2 | 7.5 |
| 6.1 | 6.0 | 6.2 | 7.3 | 7.45 |
| 6.2 | 5.9 | 9.3 | 7.15 | 7.45 |
| 6.1 | 6.05 | 6.2 | 7.3 | 7.55 |
| 6.2 | 6.0 | 6.25 | 7.25 | 7.3 |
| 6.15 | 6.1 | 6.15 | 7.3 | 7.4 |
| 6.3 | 6.2 | 6.15 | 7.3 | 7.25 |
| 5.9 | 6.2 | 6.05 | 7.2 | 7.35 |
| 6.3 | 6.1 | 6.2 | 7.25 | 7.35 |
| 6.0 | 6.1 | 6.0 | 7.4 | 7.45 |
| 5.8 | 6.3 | 6.1 | 7.25 | 7.4 |
| 5.9 | 6.1 | 6.15 | 7.1 | 7.45 |
| 5.85 | 6.1 | 6.2 | 7.45 | 7.35 |
| 6.2 | 6.35 | 6.0 | 7.25 | 7.3 |
| 6.3 | | 6.2 | 7.4 | 7.45 |
| 6.3 | | 6.2 | 7.4 | 7.4 |
| | | 6.05 | 7.5 | |
| 6.3 | | 6.2 | 7.4 | 7.4 |
| | | 6.05 | 7.5 | |
| Mittel $6^m$ 6.09$^s$ | 6 6.09 | 6 6.13 | 6 7.31 | 6 7.41 |
| t 12.90° | 12.88 | 13.00 | 24.25 | 24.28 |
| h 2.8p | 2.3 | 2.6 | 2.6 | 2.3 |
| T 3.6609 | 3.6609 | 3.6613 | 3.6731 | 3.6741 Sternzeit |
| log T 0.56 240 | 0.56 240 | 0.56 245 | 0.56 385 | 0.56 396 mittl. Zeit |
| Red. auf 15° +18 | +19 | +18 | −88 | −88 |
| log $T_{15}$ 0.56 258 | 0.56 259 | 0.56 263 | 0.56 297 | 0.56 308 |

**Korrektionen**

Torsion
nach Magnet 22
$\frac{1}{2} \log (1+\gamma) = 46 \frac{\sin \varphi_{22}}{\sin \varphi_{32}}$ . . . $+44 \times 10^{-5}$

Unendl. kl. Bogen
mittl. h = 2.5p
= 1.4° . . . . . −2

Uhrgang
$\Delta s = +3^s$ . . . . . +2

Temperatur
Koeffizient für 13° auf 15° = 8.8
Reduktion von 24°.3 auf 15° = 9.5

Σ Korr. +44

| | |
|---|---|
| Mittl. log $T_{15}$ | 0.56 277 |
| Σ Korr. | +44 |
| **korr. log $T_{15}$** | **0.56 321** |

### Ablenkungen.

Zeit $9^h$ 37—$10^h$ 15 a. m.

**Entfernung $e_1$**

Bez. o.
$v_1$ 356° 15.85′
$v_2$ 355 54.30 φ = 35° 41.04′
$v_3$ 285 4.18 m = 320 24.04
$v_4$ 284 21.82
t = 16.43°
mittl. φ = 35° 40.21′
mittl. m = 320 23.80

Bez. u.
$v_1$ 356° 13.70′
$v_2$ 355 52.18 φ = 35° 39.38′
$v_3$ 285 6.18 m = 320 23.57
$v_4$ 284 22.20
t = 17.20°

**Entfernung $e_2$**

Bez. o.
$V_1$ 333° 41.25′
$V_2$ 333 35.38 φ = 13° 26.80′
$V_3$ 306 49.85 m = 320 11.53
$V_4$ 306 39.60
t = 16.99°
mittl. φ = 13° 26.79′
mittl. m = 320 11.48

Bez. u.
$V_1$ 333° 40.95′
$V_2$ 333 35.45 φ = 13° 26.78′
$V_3$ 306 49.75 m = 320 11.42
$V_4$ 306 39.50
t = 17.03°

| | |
|---|---|
| log sin φ | 9.76 576 |
| Korr. Torsion | — 10 |
| Red. auf t = 15° | + 36 |
| **korr. log sin $\varphi_{15}$** | **9.76 602** |

Temp. Koeff. = 19.8

| | |
|---|---|
| log sin φ | 9.36 649 |
| Korr. Torsion | — 7 |
| Red. auf t = 15° | + 40 |
| **korr. log sin $\varphi_{15}$** | **9.36682** |

| | |
|---|---|
| log $C_{15}$ | 9.81 777 |
| Korr. Indukt. | — 11 |
| | 9.81 766 |
| — ½ log sin $\varphi_{15}$ | 9.88 301 |
| — log $T_{15}$ | 0.56 321 |
| log H | 9.37 144 |

**H = 0.23 520**

| | |
|---|---|
| log $C_{15}$ | 9.61 820 |
| Korr. Indukt. | — 11 |
| | 9.61 809 |
| — ½ log sin $\varphi_{15}$ | 9.68 341 |
| — log $T_{15}$ | 0.56 321 |
| log H | 9.37 147 |

**H = 0.23 522**

M = 936.9 Magnetisches Moment von Magnet 32 bei 0°.

## Magnet 22.

### Schwingungen.

| Zeit 7h 20—29 a. m. 102 Schw.-D. | Zeit 11h 21—11h 50 a. m. 100 Schwingungsdauern. | | |
|---|---|---|---|
| Bez. o | Bez. o | Bez. u | |
| 6m 21.28s | 6 14.75 | 6 14.75 | |
| 1.5 | 4.65 | 4.8 | |
| 1.6 | 4.7 | 5.0 | |
| 1.5 | 4.95 | 5.0 | |
| 1.1 | 4.75 | 4.8 | |
| 1.35 | 4.65 | 5.0 | |
| 1.3 | 4.7 | 5.0 | |
| 1.3 | 4.85 | 5.0 | |
| 1.5 | 4.85 | 5.15 | |
| 1.3 | 4.55 | 5.1 | |
| 1.4 | 4.9 | 4.85 | |
| 1.65 | 4.7 | 4.9 | |
| 1.3 | 4.85 | 4.95 | |
| 1.1 | 4.7 | 5.1 | |
| 1.2 | 4.75 | 4.8 | |
| 1.35 | 4.75 | 4.95 | |
| 1.4 | 4.6 | 5.05 | |
| 1.4 | 4.5 | 5.0 | |
| 1.2 | 4.6 | 4.95 | |
| 1.3 | 4.85 | 5.0 | |
| Mittel 6m 21.35s | 6 14.73 | 6 14.96 | |
| t 12.70° | 21.65 | 21.45 | |
| h 2.0p | 3.1 | 2.5 | |
| T 3.7285s | 3.7473 | 3.7496 | Sternzeit |
| log T 0.57 154 | 0.57 253 | 0.57 280 | mittl. Zeit |
| Red. auf 15° + 23 | — 71 | — 69 | |
| log $T_{15}$ 0.57 177 | 0.57 182 | 0.57 211 | |
| | nicht benützt (s. u.) | | |

**Korrektionen**

Torsion
Skalenwert 1 p = 33.87′
Torsionskopf α = 180°
Skala θ = 0.68p
½ log (1 + γ) . . . . . + 46 × 10⁻⁵

Unendl. kl. Bogen
mittl. h = 2.5p
= 1.4° . . . . . — 2

Uhrgang
Δs = + 3s . . . . . + 2

Temperatur
Koeffizient für } 12°.7 auf 15° = 9.9
Reduktion von } 21°.5 auf 15° = 10.7

Σ Korr. + 46

| | |
|---|---|
| Mittl. log $T_{15}$ | 0.57194 |
| Σ Korr. | + 46 |
| **korrig. log $T_{15}$** | **0.57240** |

## Ablenkungen.

Zeit $10^h\,20'$—$10^h\,55$ a. m.

**Entfernung $e_1$**

Bez. o

$v_1$ 354° 27.08′
$v_2$ 354 14.53 $\varphi$ = 33° 58.54′
$v_3$ 286 47.60 m = 320 22.63
$v_4$ 286 0.60
t = 18.45° mittl. $\varphi$ = 33° 58.54
mittl. m = 320 22.41

Bez. u

$v_1$ 354° 28.30′
$v_2$ 354 13.18 $\varphi$ = 33° 58.55′
$v_3$ 286 46.93 m = 320 22.19
$v_4$ 286 0.35
t = 18.33°

| | |
|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.74 729 |
| Korr. Torsion | — 10 |
| Red auf t = 15° | + 76 |
| **korr. log sin $\varphi_{15}$** | **9.74 795** |

**Entfernung $e_2$**

Bez. o

$V_1$ 333° 6.25′
$V_2$ 333 2.73 $\varphi$ = 12° 53.01′
$V_3$ 307 24.30 m = 320 11.48
$V_4$ 307 12.63
t = 18.65° mittl. $\varphi$ = 12° 52.94′
mittl. m = 320 11.38

Bez. u

$V_1$ 333° 6.08′
$V_2$ 333 2.20 $\varphi$ = 12° 52.87′
$V_3$ 307 24.25 m = 320 11.27
$V_4$ 307 12.55
t = 18.34°

| | |
|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.34 821 |
| Korr. Torsion | — 7 |
| Red. auf t = 15° | + 78 |
| **korr. log sin $\varphi_{15}$** | **9.34 892** |

---

| | | | |
|---|---|---|---|
| log $C_{15}$ | 9.81 803 | log $C_{15}$ | 9.61 853 |
| Korr. Indukt. | — 11 | Korr. Indukt. | — 11 |
| | 9.81 792 | | 9.61 842 |
| — ½ log sin $\varphi_{15}$ | 9.87 398 | — ½ log sin $\varphi_{15}$ | 9.67 446 |
| — log $T_{15}$ | 0.57 240 | — log $T_{15}$ | 0.57 240 |
| log H | 9.37 154 | log H | 9.37 156 |
| **H = 0.23 525** | | **H = 0.23 527** | |

M = 899.2 Magnetisches Moment von Magnet 22 bei 0°.

Der Grund für die etwas starke Abweichung der beiden log $T_{15}$ vom Mittagssatz des Magneten 22 konnte nicht aufgedeckt werden; die Abweichung der Frühbeobachtung scheint jedoch, wie auch Magnet 32 zeigt, der täglichen Variation zu entspringen. Bei demselben ist das Mittagsmittel von log $T_{15}$ um 42 Einheiten in $10^{-5}$ größer als das Frühmittel; darnach scheint bei Magnet 22 der Wert 0.57 211 richtiger zu sein als 0.57 182, wenn man den Frühwert zur Entscheidung heranzieht. Es ist daher der Wert 0.57 182 nicht berücksichtigt.

## § 31. Ponta Delgada auf São Miguel (Azoren).

Ort: Pfeiler im Garten des Herrn Major Chaves, des Direktors der geophysikalischen Station auf São Miguel.

Zeit: Mittlere Ortszeit. Schwingungen nach Sternzeit-Chronometer Bröcking 1333.

## Beobachtungen vom 6. und 7. November 1903.

# Magnet 32.

### Schwingungen.

7. Nov. $8^h$ 55—$9^h$ 22 a. m.
100 Schwingungsdauern.

| Bez. o | Bez. u |
|---|---|
| $6^m$ 12.35$^s$ | 6 12.3 |
| 2.5 | 2.4 |
| 2.45 | 2.45 |
| 2.4 | 2.3 |
| 2.2 | 2.2 |
| 2.5 | 2.35 |
| 2.3 | 2.2 |
| 2.4 | 2.3 |
| 2.4 | 2.35 |
| 2.25 | 2 35 |
| 2.5 | 2.5 |
| 2.25 | 2.4 |
| 2.5 | 2.3 |
| 2.1 | 2.4 |
| 2.25 | 2.15 |
| 2.3 | 2.4 |
| 2.25 | 2.5 |
| 2.2 | 2.3 |
| 2.2 | 2.4 |
| 2.4 | |
| Mittel $6^m$ 12.34$^s$ | 6 12.33 |
| t 15.25° | 15.35 |
| h 2.8p | 2.8 |
| T 3.7234$^s$ | 3.7233 Sternzeit |
| log T 0.56 975 | 0.56 974 mittl. Zeit |
| Red. auf 15° — 2 | — 3 |
| log $T_{15}$ 0.56 973 | 0.56 971 |

**Korrektionen**

Torsion
Korr. nach der Bestimmung
von Magnet 22 $= 158 \frac{\sin \varphi_{22}}{\sin \varphi_{32}}$ . . $+ 152 \times 10^{-5}$

Unendl. kl. Bogen
Mittl. h = 2.8p
= 1.5° . . . . . — 2

Uhrgang
$\Delta s = + 1^s$ . . . . . + 1

Temperatur
Koeffizient 8.9

Σ Korr. + 151

Mittl. log $T_{15}$ 0.56 972
Σ Korr. + 151
**korr. log $T_{15}$ 0.57 123**

### Ablenkungen.

6. Nov. $2^h$ 43—$3^h$ 30 p. m.

Entfernung $e_1$

Bez. o.
$v_1$ 114° 16.52′
$v_2$ 114 35.70 φ = 37° 17.33′
$v_3$ 188 43.73 m = 151 43.44
$v_4$ 189 18.80
t = 17.50°
mittl. φ = 37° 16.55′
mittl. m = 151 44.62

Bez. u.
$v_1$ 114° 20.60′
$v_2$ 114 39.18 φ = 37° 15.77′
$v_3$ 188 44.42 m = 151 45.80
$v_4$ 189 58.33 verworfen
*$v_4$ 189 19* angenommen
t = 17.90°

Entfernung $e_2$

Bez. o.
$V_1$ 137° 30.38′
$V_2$ 137 34.85 φ = 13° 58.29′
$V_3$ 165 24.93 m = 151 30.91
$V_4$ 165 33.45
t = 18.00°
mittl. φ = 13° 58.47′
mittl. m = 151 31.23

Bez. u.
$V_1$ 137° 30.60′
$V_2$ 137 35.20 φ = 13° 58.64′
$V_3$ 165 25.53 m = 151 31.54
$V_4$ 165 34.82
t = 18.01°

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| log sin φ | 9.78 222 | | log sin φ | 9.38 290 |
| Korr. Torsion | — 10 | Temp. Koeff. 19.9 | Korr. Torsion | — 7 |
| Red. auf t = 15° | + 54 | | Red. auf t = 15° | + 60 |
| **korr. log sin $\varphi_{15}$** | **9.78266** | | **korr. log sin $\varphi_{15}$** | **9.38343** |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | log $C_{15}$ | 9.81 777 | | log $C_{15}$ | 9.61 820 |
| | Korr. Indukt. | — 9 | | Korr. Indukt. | — 9 |
| | | 9.81 768 | | | 9.61 811 |
| — ½ | log sin $\varphi_{15}$ | 9.89 133 | — ½ | log sin $\varphi_{15}$ | 9.69 172 |
| — | log $T_{15}$ | 0.57 123 | — | log $T_{15}$ | 0.57 123 |
| | log H | 9.35 512 | | log H | 9.35 516 |
| | **H = 0.22 653** | | | **H = 0.22 655** | |

M = 937.5 Magnetisches Moment von Magnet 32 bei 0°.

## Magnet 22.

### Schwingungen.

Zeit 7. Nov. $9^h$ 34—$10^h$ 2 a. m.

100 Schwingungsdauern

| | Bez. o | Bez. u |
|---|---|---|
| | $6^m$ 20.45$^s$ | 6 20.55 |
| | 0.4 | 0.5 |
| | 0.3 | 0.5 |
| | 0.3 | 0.4 |
| | 0.45 | 0.35 |
| | 0.5 | 0.4 |
| | 0.35 | 0.6 |
| | 0.15 | 0.5 |
| | 0.3 | 0.5 |
| | 0.5 | 0.5 |
| | 0.25 | 0.2 |
| | 0.3 | 0.4 |
| | 0.2 | 0.3 |
| | 0.3 | 0.4 |
| | 0.4 | 0.5 |
| | 0.2 | 0.5 |
| | 0.35 | 0.55 |
| | 0.4 | 0.55 |
| | 0.3 | 0.5 |
| | 0.15 | 0.5 |
| Mittel | $6^m$ 20.31$^s$ | 6 20.46 |
| t | 15.50° | 16.40 |
| h | 2.8p | 3.2 |
| T | 3.8031$^s$ | 3.8046 |
| log T | 0.57 895 | 0.57 912 |
| Red. auf 15° | — 5 | — 14 |
| log $T_{15}$ | 0.57 890 | 0.57 898 |

Sternzeit
mittl. Zeit

**Korrektionen.**

Torsion
Skalenwert 1p = 33.0′
Torsionskopf α = 120°
Skala θ = 1.58p
½ log (1 + γ) . . . . . + 158 × $10^{-5}$

Unendl. kl. Bogen
mittl. h = 3.0p
= 1.65° . . . . . — 2

Uhrgang
Δs = + 1$^s$ . . . . . + 1

Temperatur
Koeffizient = 10.2

Σ Korr. + 157

| | |
|---|---|
| Mittl. $T_{15}$ | 0.57 894 |
| Σ Korr. | + 157 |
| **korr. log $T_{15}$** | **0.58 051** |

## Ablenkungen.

Zeit 6. Nov. $3^h 32 - 4^h 15$ p. m.

**Entfernung $e_1$**

Bez. o

$v_1$ 116° 4.90′
$v_2$ 116 16.28 $\varphi =$ 35° 34.03′
$v_3$ 186 58.80 m = 151 44.62
$v_4$ 187 38.50
t = 16.73° mittl. $\varphi =$ 35° 34.39′
mittl. m = 151 45.46

Bez. u

$v_1$ 116° 5.45′
$v_2$ 116 17.65 $\varphi =$ 35° 34.75′
$v_3$ 187 2.70 m = 151 46.30
$v_4$ 187 39.40
t = 16.10°

| | |
|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.76 473 |
| Korr. Torsion | — 10 |
| Red. auf t = 15° | + 31 |
| **korr. log sin $\varphi_{15}$** | **9.76 494** |

Temp. Koeff. 21.9

| | |
|---|---|
| log $C_{15}$ | 9.81 803 |
| Korr. Indukt. | — 9 |
| | 9.81 794 |
| — ½ log sin $\varphi_{15}$ | 9.88 247 |
| — log $T_{15}$ | 0.58 051 |
| log H | 9.35 496 |

**H = 0.22 644**

**Entfernung $e_2$**

Bez. o

$V_1$ 138° 6.62′
$V_2$ 138 8.98 $\varphi =$ 13° 25.07′
$V_3$ 164 52.70 m = 151 32.87
$V_4$ 165 3.15
t = 16.25° mittl. $\varphi =$ 13° 25.25′
mittl. m = 151 33.19

Bez. o

$V_1$ 138° 6.70′
$V_2$ 138 9.45 $\varphi =$ 13° 25.42′
$V_3$ 164 53.75 m = 251 33.50
$V_4$ 165 4.08
t = 16.11°

| | |
|---|---|
| log sin $\varphi$ | 9.36 568 |
| Korr. Torsion | — 7 |
| Red. auf t = 15° | + 26 |
| **korr. log sin $\varphi_{15}$** | **9.36 587** |

| | |
|---|---|
| log $C_{15}$ | 9.61 853 |
| Korr. Indukt. | — 9 |
| | 9.61 844 |
| — ½ log sin $\varphi_{15}$ | 9.68 294 |
| — log $T_{15}$ | 0.58 051 |
| log H | 9.35 499 |

**H = 0.22 646**

M = 899.9 Magnetisches Moment von Magnet 22 bei 0°.

Die Beobachtung $e_4$ von Magnet 32 Bez. u, Entfernung $e_1$, wird verworfen, da sie beim Vergleich der einander entsprechenden Einstellungen $e_n$ von Bez. o und Bez. u vollständig herausfällt; sie ist vermutlich dadurch zu erklären, daß der Magnet beim Einlegen des Thermometers etwas von der Anschlagsfläche weg nach innen verschoben wurde. Verwendet wurde an Stelle des verworfenen $e_4$ das $e_4$ von Bez. o.

# Abschnitt V. Zusammenfassung der Ergebnisse.

## § 32. Zusammenstellung der *H*-Werte des Reisetheodoliten.

Zur Übersicht stellen wir sämtliche *H*-Messungen, die uns später als Grundlage für die Konstanten der Schiffsinstrumente dienen, zusammen und erhalten dabei einen Einblick in das Zusammenstimmen der verschiedenen Werte. Es hat keinen rechten Sinn, eine Tageszeit für jeden *H*-Wert anzugeben, da die Ablenkungen und Schwingungen zumeist aus so verschiedenen Tageszeiten stammen, daß es nicht am Platz ist, den *H*-Wert dem Mittel der Beobachtungs-

zeiten zuzuschreiben. Um den Einfluß der Variationen zu beurteilen, muß man schon auf die angegebenen Zeiten der einzelnen Beobachtungsgruppen zurückgreifen.

**Zusammenstellung der mit dem Reisetheodoliten beobachteten *H*-Werte in γ.**

| Ort und Zeit | | Magnet 22 | | | | Magnet 32 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | Differenz $e_1-e_{3(2)}$ | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | Differenz $e_1-e_{3(2)}$ |
| Kapstadt | 27. XI. 01 | | | | | 18395 | | 18396 | — 1 |
| | 30. XI. 01 | | | | | 18402 | | 18403 | — 1 |
| Kerguelen | 16. I. 01 | 16476 | | 16475 | + 1 | 16472 | | 16471 | + 1 |
| | 21. I. 02 | 16506 | | 16504 | + 2 | 16503 | | 16501 | + 2 |
| Gauss-Station | 27. II. 02 | | | 13263 | | | | 13261 | |
| | 3. IV. 02 | | | 13301 | | | | | |
| | 7.—10. I. 03 | | 13344 | 13346 | — 2 | | 13337 | 13329 | Starke Variat. |
| Simonstown | 21. VI. 03 | 18220 | | 18218 | + 2 | 18223 | | 18223 | 0 |
| | 24. VI. 03 | 18246 | | 18247 | — 1 | | | | |
| St. Helena | 31. VIII. 03 | 23525 | 23527 | | — 2 | 23520 | 23522 | | — 2 |
| Pa. Delgada (Azoren) | 6. XI. 03 | 22644 | 22646 | | — 2 | 22653 | 22655 | | — 2 |

**Zusammenstellung der Magnetmittel und definitiven Werte von *H*.**

| | | Magnet 22 | Magnet 32 | Differenz 22—32 | Definitive Werte |
|---|---|---|---|---|---|
| Kapstadt | 27. XI. 01 | | 18395 | | 18395 |
| | 30. XI. 01 | | 18402 | | 18402 |
| Kerguelen | 16. I. 02 | 16476 | 16472 | + 4 | 16474 |
| | 21. I. 02 | 16505 | 16502 | + 3 | 16504 |
| Gauss-Station | 27. II. 02 | 13263 | 13261 | + 2 | 13262 |
| | 3. IV. 02 | 13301 | | | 13301 |
| | 7.—10. I. 03 | 13345 | 13333 | Starke Variat. | 13339 |
| Simonstown | 21. VI. 03 | 18219 | 18223 | — 4 | 18221 |
| | 24. VI. 03 | 18246 | | | 18246 |
| St. Helena | 31. VIII. 03 | 23526 | 23521 | + 5 | 23523 |
| Pa. Delgada (Azoren) | 6. XI. 03 | 22645 | 22654 | — 9 | 22650 |

## § 33. Genauigkeit dieser *H*-Werte.

Wir können die Zusammenstellung des letzten Paragraphen dazu benutzen, um die mittleren Fehler unserer *H*-Messungen abzuleiten. Streng genommen ist dies nicht möglich, solange wir die Variationen nicht berücksichtigen, und diese stehen nur für die Gauss-Station teilweise

zur Verfügung. Die wirklichen mittleren Fehler unserer Messungen werden also kleiner sein, als die aus unseren Beobachtungen abgeleiteten.

Nur eine geringe Rolle spielen die Variationen beim Vergleich der $H$-Werte eines einzelnen Magneten für sich, wie sie aus den Messungen in zwei verschiedenen Entfernungen folgen (vgl. die erste Zusammenstellung von § 27); aber diese Differenzen geben nur einen Einblick in die Güte der Ablenkungen, da die Schwingungen diesen beiden $H$-Messungen gemeinsam sind.

Liegen für eine variable Größe Doppelmessungen $n$ verschiedener Werte vor, so findet man aus den Differenzen $d$ der zusammengehörigen Wertepaare

als mittleren Fehler einer einzelnen Messung $\sqrt{\frac{\Sigma d^2}{n}}$, einer Doppelmessung $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\Sigma d^2}{n}}$.

So ergibt sich als mittlerer Fehler einer Doppelmessung von $H$

mit Magnet 22 allein für sich = 0.9 $\gamma$
mit Magnet 32 allein für sich = 0.7 $\gamma$.

In derselben Weise erhalten wir den mittleren Fehler der definitiven $H$-Werte von der zweiten Zusammenstellung des § 27 aus dem Vergleich der von den beiden Magneten gelieferten Mittelwerte. Da die Beobachtungszeiten beider Magnete nicht unerheblich voneinander abweichen, ist dieser mittlere Fehler infolge der Variationen sicherlich zu groß; es ergibt sich der mittlere Fehler einer Doppelmessung aus beiden Magneten zu $\leqq 2.7\ \gamma$.

Diese Genauigkeit ist für den Hauptzweck, die Konstantenbestimmung der Schiffsinstrumente, mehr als ausreichend, und solange wir keine Variationen zur Verfügung haben, ist gar keine rechte Verwendung für eine solche Genauigkeit vorhanden.

## § 34. Die Konstanten vor und nach der Reise. Konstanz der magnetischen Verteilung unserer Magnete während der Reise.

Ein noch größeres Zutrauen zu unseren $H$-Werten, als es solche Genauigkeitsberechnungen, wie die soeben angestellten, geben können, verschafft uns ein Vergleich der in Potsdam vor und nach der Reise bestimmten Instrumentalkonstanten.

Die Konstanten vor der Reise sind in § 17 nach den Beobachtungen von Herrn Dr. Lüdeling abgeleitet; wegen Zeitmangels war es leider nur für einen Magneten möglich gewesen, die Konstantenbestimmung vorzunehmen; immerhin erhalten wir auch so einen vollkommenen Einblick in die Sicherheit der vom Instrument herrührenden Bestandteile der Konstanten, also insbesondere der Entfernungen. Daneben stellen wir die entsprechenden Konstanten von § 20, die aus meinen Beobachtungen nach der Reise abgeleitet sind; alle Werte sind auf die Normaltemperatur t = 15° reduziert.

**Konstanten log $C_{15}$ von Magnet 32 vor und nach der Reise**

| | Entfernung $e_1$ | Entfernung $e_3$ | Beobachter |
|---|---|---|---|
| **vor der Reise August 1901** | **9.81 776** ± 1.9 | **9.58 874** ± 3.0 | Lüdeling |
| **nach der Reise Febr. 1904** | **9.81 777** ± 1.7 | **9.58 876** ± 1.6 | Bidlingmaier |

Hiedurch ist erwiesen, daß unser Instrument während der Reise sich in ausgezeichneter Weise konstant erhalten hat, und dies ist um so höher anzuschlagen, wenn man an die Strapazen denkt, die es hat durchmachen müssen, an das verschiedene Ausbooten von dem vor Anker liegenden „Gauss", an die Transporte mit dem südafrikanischen Ochsenkarren auf holprigen Wegen, oder gar an die mehrwöchentlichen Schlittenreisen zum Teil über sehr schwieriges Packeis, wo der Schlitten, der Laune der Polarhunde ausgeliefert, in gar manchen Packeisgraben fiel. Da gereicht das Resultat, das in den obigen vier Zahlen liegt, dem Verfertiger des Instruments, Herrn Ludwig Tesdorpf, den leider inzwischen ein früher Tod hinweggerafft hat, zur hohen Ehre.

Daß auch die Magnete sich gut gehalten haben, geht wenigstens für Magnet 32, dessen Ablenkungsfunktion $F$ (Formel 2a) in den $\log C$ stecken, schon aus dem obigen Resultat hervor; noch deutlicher läßt sich dies für beide Magnete an ihrem Verhalten während der Reise zeigen. Da an jeder Station Messungen mit zwei Entfernungen vorliegen, abgesehen von der Gauss-Station, wo $e_1$ einen unendlich großen Winkel ergab, so können wir für jeden Magneten das Verhältnis des großen zum kleinen Ablenkungswinkel bilden und den Gang dieses Verhältnisses auf den einzelnen Stationen verfolgen.

Bezeichnen wir mit Indexzahlen die zusammengehörigen Werte von $\varphi$, $e$ und $F$, und nehmen wir die Funktion:

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_3} = \frac{e_3^3}{e_1^3} \cdot \frac{F_1}{F_3},$$

so erhalten wir aus dem Gang dieses Verhältnisses einen Einblick in die Konstanz der Werte $e$ und $F$, die auch wesentliche Bestandteile der Instrumentalkonstanten $C$ sind. Nach den Ergebnissen von § 24 stecken in den $F$ in unserem Fall außer den Entfernungen im wesentlichen nur noch die Quadrate der Poldistanzen von Magnet und Nadel.

Da wir während der Reise noch eine dritte Entfernung eingeführt haben (§ 13), bekommen wir für jeden Magneten zwei solche Verhältnisse. Wir stellen im folgenden nach den Ergebnissen von Abschnitt IV den log des Verhältnisses der reduzierten $\sin \varphi$ zusammen, zunächst alle Einzelwerte, dann die Mittelwerte.

$\sin \varphi_1$ gehört zu Entfernung $e_1 = 24.0$ cm
$\sin \varphi_2$ „ „ „ $e_2 = 32.5$ „
$\sin \varphi_3$ „ „ „ $e_3 = 34.0$ „

**Gang von $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_n}$ während der Reise.**

Einzelwerte

| | | Magnet 32 | | Magnet 22 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_3}$ | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$ | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_3}$ | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$ |
| Potsdam (vor d. Reise) | 3. VIII. 01 | 0.45 800 | | | |
| Kapstadt | 27. XI. 01 | 0.45 808 | | | |
| | 30. XI. 01 | 0.45 809 | | | |
| Kerguelen | 16. I. 02 | 0.45 794 | | 0.45 790 | |
| | 21. I. 02 | 0.45 790 | | 0.45 786 | |

| | | Magnet 32 | | Magnet 22 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$ | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$ | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$ | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$ |
| Gauss-Station | | Keine $\sin \varphi_1$ möglich | | | |
| Simonstown | 21. VI. 03 | 0.45 799 | | 0.45 787 | |
| | 24. VI. 03 | | | 0.45 800 | |
| St. Helena | 31. VIII. 03 | | 0.39 920 | | 0.39 903 |
| Ponta Delgada | 6. XI. 03 | | 0.39 922 | | 0.39 907 |
| Potsdam (nach d. Reise) | 9. II. 04 | 0.45 804 | 0.39 913 | 0.45 792 | 0.39 900 |
| | 11. | 805 | 915 | 799 | 895 |
| | 12. | 800 | 915 | 791 | 895 |
| | 13. | 801 | 914 | 792 | 896 |
| | 17. | 802 | 920 | 799 | 909 |
| | 18. | 801 | 916 | 798 | 903 |
| | 19. | 802 | 913 | 798 | 900 |

Mittelwerte

| | Magnet 32 | | Magnet 22 | |
|---|---|---|---|---|
| | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_3}$ | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$ | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_3}$ | $\log \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$ |
| Potsdam (vor d. Reise) | 0.45 800 | | | |
| Kapstadt | 0.45 808 | | | |
| Kerguelen | 0.45 792 | | 0.45 788 | |
| Simonstown | 0.45 799 | | 0.45 794 | |
| St. Helena | | 0.39 920 | | 0.39 903 |
| Ponta Delgada | | 0.39 922 | | 0.39 907 |
| Potsdam (nach d. Reise) | 0.45 802 | 0.39 915 | 0.45 796 | 0.39 900 |
| Mittel | 0.45 800 ± 2.6 | 0.39 919 ± 2.1 | 0.45 793 ± 2.4 | 0.39 903 ± 2.2 |

Diese Zahlen zeigen, daß die Verhältnisse ($\sin \varphi_1 : \sin \varphi_n$), in welchen die Entfernungen, sowie die Poldistanz von Magnet und Nadel stecken, im Durchschnitt im Verlauf der Reise bis auf $^1/_{20}$ Promille ihres Werts konstant geblieben sind. Nehmen wir dazu die oben erwiesene, vollkommene Konstanz der Instrumentalkonstanten, so dürfen wir sagen, daß sich Instrument und Magnete während der ganzen Reise ausgezeichnet gehalten haben, was für die Beurteilung der damit erzielten Resultate von grundlegender Bedeutung ist.

## § 35. Gang der magnetischen Momente während der Reise.

Jeder Magnet ist ein Individuum für sich mit seinen besonderen Eigenschaften und Neigungen. Wenn wir uns auch bei unserer Hauptaufgabe, der *H*-Bestimmung, von denselben durch Elimination des magnetischen Moments möglichst freimachen, so ist es doch interessant, zum Vergleich mit fremden Erfahrungen die magnetischen Momente zusammenzustellen, und in ihrem Gang die Geschichte und die Eigenschaften der Magnete zu lesen.

In der folgenden Tabelle stellen wir sämtliche ermittelten Werte zusammen; benützt sind nur die Beobachtungen von $e_1$ mit Ausnahme der Gauss-Station, wo $e_1$ einen unendlich großen Ablenkungswinkel ergab, und daher $e_3$ benutzt wurde. Alle Werte sind auf die Normaltemperatur von 0° reduziert. Beigefügt ist das Datum und die Temperatur der Beobachtung.

**Zusammenstellung der magnetischen Momente bei 0°.**

| Ort | Datum | Temperatur | Magnet 32 | | Magnet 22 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Moment | Mittel | Moment | Mittel |
| Potsdam | 1901 Aug. 3. | 24° | 943.6 | 943.3 | | |
| | 5. | 22 | 943.4 | | | |
| | 5. | 38 | 943.3 | | | |
| | 5. | 24 | 942.8 | | | |
| Kapstadt | Nov. 27. | 24 | 940.9 | 941.4 | | |
| | 30. | 30 | 941.7 | | | |
| Kerguelen | 1902 Jan. 16. | 10 | 940.4 | 940.8 | 900.8 | 901.4 |
| | 21. | 10 | 941.2 | | 902.1 | |
| Gauss-Station | Febr. 27. | 0 | 940.6 | 940.8 | 900.6 | 901.3 |
| | Apr. 3. | — 10 | | | 902.1 | |
| | 1903 Jan. 8. | 0 | 941.0 | | 901.1 | |
| Simonstown | Juni 21. | 10 | 936.8 | 936.8 | 899.5 | 899.9 |
| | 24. | 10 | | | 900.3 | |
| St. Helena | Aug. 31. | 15 | 936.9 | 936.9 | 899.2 | 899.2 |
| Ponta Delgada | Nov. 6. | 15 | 937.5 | 937.5 | 899.9 | 899.9 |
| Potsdam | 1904 Febr. 9. | 22 | 937.2 | 936.7 | 900.0 | 899.5 |
| | 11. | 37 | 936.6 | | 899.7 | |
| | 12. | 35 | 936.7 | | 899.3 | |
| | 13. | 20 | 936.2 | | 899.1 | |
| | 17. | 4 | 936.7 | | 899.5 | |
| | 18. | 5 | *931.8* | | *895.2* | |
| | 19. | 20 | *934.0* | | *898.1* | |

Man sieht wie, die Magnete die Temperaturuntersuchungen in Potsdam ohne erheblichen Verlust ihres Moments überstehen. Durch ein Versehen des neueingetretenen Dieners erleiden sie bei den Untersuchungen nach der Reise vom 17. auf 18. Februar 1904 einen starken Sprung; vermutlich wurde von den beiden Etuis, in welchen die Magnete, einander bindend, aufbewahrt wurden, und welche über Nacht übereinander auf einem Pfeiler lagen, das obere über das untere weggestreift, so daß vielleicht die ganze Nacht über zwei gleichnamige Pole zusammenlagen. Es ist aber sehr interessant zu sehen, wie schnell sich die Magnete wieder erholen, so daß der eine von beiden tags darauf schon wieder seinem alten Wert nahegekommen ist.

Sieht man die Stationen mit zwei Bestimmungen an, so könnte es auffallen, daß die zweiten Werte ausnahmslos größer sind, als die ersten. Wahrscheinlich rührt dies nur von der Nichtberücksichtigung der unbekannten Variationen her; zufällig fallen nämlich die ersten Bestimmungen mehr auf a. m., die zweiten mehr auf p. m.

Der Gang der Momente während der Reise läuft bei beiden Magneten parallel, nur ist Magnet 22 noch widerstandsfähiger, als Magnet 32; bis auf zwei treppenförmige Absprünge halten sich die Momente auf derselben Höhe. Der erste Verlust an Moment fällt auf die Zeit zwischen Potsdam 1901 und Kapstadt, der zweite zwischen der Antarktis und Südafrika. Der erste Verlust hängt mit der Neuheit der Magnete und mit der Äquatorhitze zusammen, während der zweite Verlust weniger sicher zu erklären ist, wenn man nicht an die rasche Veränderung des Erdfelds bei stark zunehmender Temperatur denken darf.

Interessant ist es, noch hervorzuheben, daß die Magnete zwischen der Bestimmung vom Februar 1902 und Januar 1903 auf der Gauss-Station den harten Unbilden einer vierwöchentlichen Schlittenreise über vielfach sehr schweres antarktisches Packeis ausgesetzt gewesen sind, welche sie jedoch glänzend überstanden haben.

# Drittes Kapitel.

# Der Einfluss des Schiffseisens.

## I. Abschnitt. Deviationslehre.

**Literatur.** Das grundlegende Werk ist „Admiralty Manual for the Deviations of the Compass", dessen Schöpfer der Mathematiker Archibald Smith und der Kapitän F. J. Evans gewesen sind. Es enthält sowohl eine eingehende Darstellung der mathematischen Grundlagen, als auch eine erschöpfende Behandlung der Praxis. Natürlich steht die Deviation des Kompasses vollständig im Vordergrund, diejenige von $H$ und $Z$ ist nur mit Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis, die von $T$ und $i$ gar nicht behandelt. Das deutsche Gegenstück bildet die Deviationslehre im „Lehrbuch der Navigation", herausgegeben vom Reichs-Marine-Amt, in welchem jedoch die Theorie noch mehr zurücktritt.

Die Deviation in Intensität und Inklination entwickelt Archibald Smith für die berühmten Beobachtungen von „Erebus" und „Terror" in den Contributions to Terrestrial Magnetism von Sabine, Phil. Trans. 1843 pg. 147, 1844 pg. 117, 1868 pg. 376. Diesen Entwicklungen nachgebildet sind die Instruktionen für die Challenger-Expedition im Band Narrative vol. II, pg. 14f. und 21. Beide Darstellungen sind jedoch nicht allgemein, sondern beruhen auf speziellen Annahmen.

Die erste allgemeine Entwicklung der Deviation aller Elemente gibt Börgen im Gazelle-Werk II. Band, Physik und Chemie pg. 161ff. Diese Entwicklungen sind aber ziemlich kompliziert. Ich habe daher auf eine freundliche Anregung von Herrn Börgen hin eine Darstellung gewählt, welche die ganze Deviationslehre auf den drei einfachen Hauptformeln I—III der Paragraphen 37 und 38 aufbaut.

Im Vergleich zu meinem Abschnitt „Magnetische Beobachtungen an Bord" im I. Band von Neumayer's „Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen" ist die folgende Darstellung noch etwas durchsichtiger und knapper gehalten und bietet neben vielen bekannten Dingen, wie ich hoffe, nach Form und Inhalt auch mancherlei Neues.

## § 36. Grundbegriffe und Grundformeln.

Koordinatensystem an Bord. Wir orientieren alle Richtungen und Kräfte an Bord an einem fest mit dem Schiff verbundenen rechtwinkligen Koordinatensystem, dessen $x$-Achse horizontal nach vorn, dessen $y$-Achse horizontal nach Steuerbord und dessen $z$-Achse vertikal abwärts zeigt. Wir unterscheiden künftig immer die durch den Schiffsmagnetismus gestörten Richtungen und Vektoren durch einen Index von den entsprechenden wahren Richtungen und Vektoren, welche am selben Ort bei Abwesenheit des Schiffseisens vorhanden sein würden. So sind z. B. die Komponenten des gestörten magnetischen Felds, $X'\ Y'\ Z'$, natürlich verschieden von denjenigen des wahren Felds, $X\ Y\ Z$, wenn man beide Felder in dem oben definierten Koordinatensystem ausdrückt.

### Zusammenhang zwischen dem beweglichen Koordinatensystem an Bord und einem festen Koordinatensystem der Erdoberfläche.

Da das Schiff und sein Koordinatensystem fortwährend Drehungen um die Vertikale ausführt, brauchen wir noch eine Beziehung unseres beweglichen Koordinatensystems auf ein mit der Erdoberfläche fest verbundenes Koordinatensystem. Als solches wählen wir die Richtungen nach dem wahren magnetischen Norden, nach dem wahren magnetischen Osten und außerdem nach der Vertikalen abwärts. Durch diese Festsetzung ist auch schon der Sinn der Inklination $i$ festgelegt: nördliche Inklination hat das Vorzeichen +, südliche —.

Unser bewegliches und festes Koordinatensystem haben Ursprung und $Z$-Achse gemeinsam; es genügt also ein Parameter, um das bewegliche an das feste anzuschließen. Als solchen wählen wir den Winkel zwischen dem wahren magnetischen Meridian und der $X$-Achse; derselbe heißt „der wahre magnetische Kurs des Schiffes“ und pflegt mit $\zeta$ bezeichnet zu werden.

Wir haben also die Beziehungen:

$$
\begin{aligned}
X &= +H\cos\zeta \\
Y &= -H\sin\zeta \qquad (24)\\
Z &= \phantom{-}H\operatorname{tg} i
\end{aligned}
$$

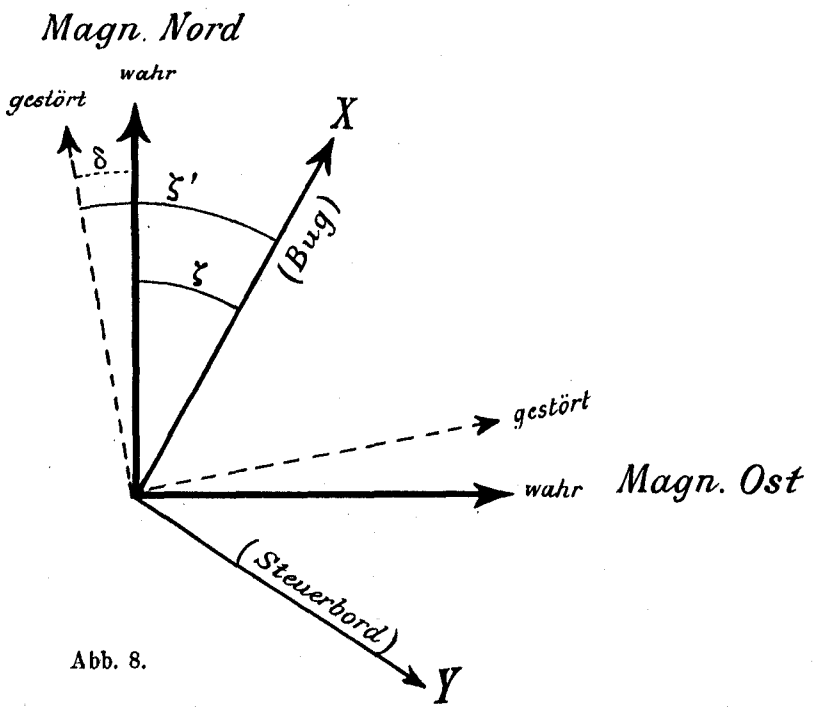



Abb. 8.

Neben diesem festen Koordinatensystem (fest ist es allerdings nur, soweit wir von den erdmagnetischen Variationen absehen, was beim bisherigen Genauigkeitsgrad magnetischer Seebeobachtungen vollkommen erlaubt ist), gebrauchen wir nach Bedarf noch ein zweites, halbfestes Hülfs-Koordinatensystem, nach gestört magnetisch Nord, nach gestört magnetisch Ost und vertikal abwärts. Der Winkel zwischen dem durch das Schiffseisen gestörten magnetischen Meridian und dem Bug des Schiffes ist der „Kompaßkurs" $\zeta'$, und wir haben die ganz analogen Beziehungen:

$$\begin{aligned} X' &= +H' \cos \zeta' \\ Y' &= -H' \sin \zeta' \\ Z' &= \quad H' \operatorname{tg} i' \end{aligned} \tag{25}$$

Der Winkel zwischen wahrem und gestörtem magnetischen Meridian ist die „Deviation des Kompasses" $\delta$ und zählt nach obiger Definition von dem wahren magnetischen Meridian aus östlich (daher ist das $\delta$ in der Abbildung 8 negativ). Wir haben also zwischen dem festen und halbfesten Koordinatensystem die Beziehung:

$$\delta = \zeta - \zeta'. \tag{26}$$

Endlich wollen wir noch das feste und halbfeste magnetische Koordinatensystem an das übliche astronomische Koordinatensystem anknüpfen, nach astronomisch Nord, nach astronomisch Ost und vertikal abwärts, indem wir den Winkel zwischen astronomisch Nord und jedem der beiden magnetischen Meridiane als „Deklination" einführen: $D$ ist der Winkel zwischen dem wahren, $D'$ zwischen dem gestörten magnetischen Meridian und dem astronomischen Meridian, gerechnet vom letzteren an nach Osten; östliche Deklination hat also das Vorzeichen +, westliche —. Zwischen der wahren Deklination $D$ und der an Bord beobachteten Deklination $D'$ besteht, wie man leicht einsieht, die Beziehung:

$$\delta = D' - D. \tag{27}$$

**Die Zusammensetzung des magnetischen Felds an Bord.**

Wir denken uns das Schiff auf irgend einem Kurs festgehalten, dann setzt sich das wirklich zu beobachtende, gestörte Feld ($X'$, $Y'$, $Z'$) aus drei Teilen zusammen:

1. aus dem wahren Feld ($X$, $Y$, $Z$), das bei Abwesenheit des Schiffseisens herrschen würde;
2. aus dem Feld der im Schiffskörper fest eingebauten, permanent magnetischen Teile, welche ihrer Definition nach am Beobachtungsort die konstanten Komponenten $P$, $Q$, $R$ verursachen;
3. aus dem Feld der im Schiffskörper befindlichen weichen Eisenmassen, die durch das Erdfeld temporär magnetisiert werden, also bei jedem Kurs ein anderes Feld am Beobachtungsort erzeugen.

Die mathematische Form der Komponenten dieses letzteren Felds ist leicht einzusehen. In einem weichen Eisenstab, der irgendwo an Bord festsitzt, wird von der Totalintensität $T$ ein magnetisches Moment induziert, das proportional $T \cos(T, S)$ ist, wo $(T, S)$ den Winkel zwischen den Kraftlinien und dem Stab bedeutet. Die Komponenten der von diesem Stab am Beobachtungsort ausgeübten Kraft werden dargestellt durch die mit dem Kurs veränderliche Größe $T \cos(T, S)$ multipliziert mit je einer konstanten Größe, die aus der konstanten physi-

kalischen Natur des Stabs und seiner konstanten Lage zum Beobachtungsplatz entspringt. Sie haben demnach die Form:

$$x\text{-Komponente: } A \cdot T \cos(T, S) = A\,(X \cos(x, S) + Y \cos(y, S) + Z \cos(z, S))$$
$$y\text{-Komponente: } B \cdot T \cos(T, S) = B\,(X \cos(x, S) + Y \cos(y, S) + Z \cos(z, S))$$
$$z\text{-Komponente: } C \cdot T \cos(T, S) = C\,(X \cos(x, S) + Y \cos(y, S) + Z \cos(z, S))$$

Summiert man die entsprechenden Komponenten aller Eisenstäbe, in welche man sich das ganze weiche Schiffseisen zerlegt denken kann, so sieht man leicht, daß jede Komponente des induzierten Felds eine homogene, lineare Funktion der Komponenten des induzierenden Felds ist. Das gesamte, am Beobachtungsplatz in Erscheinung tretende Feld läßt sich also in folgender Form darstellen:

$$\begin{aligned} X' &= X + aX + bY + cZ + P \\ Y' &= Y + dX + eY + fZ + Q \\ Z' &= Z + gX + hY + kZ + R \end{aligned} \tag{28}$$

Dies sind die von Poisson zuerst aufgestellten Fundamentalgleichungen der Deviationslehre.

## § 37. Die drei Hauptformeln streng.

Bei der Ableitung der Poisson'schen Formeln haben wir uns auf den Standpunkt des Schiffskoordinatensystems gestellt; nunmehr geben wir dem Schiff seine volle Beweglichkeit und fragen vom Standpunkte des festen magnetischen Koordinatensystems aus: wie groß ist das mit dem Kurs veränderliche $H'$ und $Z'$ je im Verhältnis zum festen $H$ und $Z$, und wie groß ist auf jedem Kurs der Winkel zwischen $H$ und $H'$?

Dazu brauchen wir nur auf der linken Seite der Fundamentalgleichungen die Formeln 25, auf der rechten die Formeln 24 einzusetzen, wodurch wir folgende neue Form der Fundamentalgleichungen erhalten:

$$\begin{aligned} \frac{H'}{H}\cos\zeta' &= (1+a)\cos\zeta - b\sin\zeta + c\,\mathrm{tg}\,i + \frac{P}{H} \\ -\frac{H'}{H}\sin\zeta' &= d\cos\zeta - (1+e)\sin\zeta + f\,\mathrm{tg}\,i + \frac{Q}{H} \\ \frac{Z'}{Z} &= g\,\mathrm{ctg}\,i\cos\zeta - h\,\mathrm{ctg}\,i\sin\zeta + 1 + k + \frac{R}{Z} \end{aligned} \tag{29}$$

Wir wollen noch den Inhalt der beiden ersten Gleichungen von 29 in einer andern Form wiedergeben, so daß wir einmal die Richtung zwischen der gestörten und wahren Horizontalkomponente, das anderemal die Größe ihres Verhältnisses ($H' : H$) erhalten. Da wir den wahren Kurs $\zeta$ nicht beobachten können, ersetzen wir denselben noch nach Gleichung 26 durch $\zeta'$ und $\delta$.

Wir fassen die beiden ersten Gleichungen 29 das einemal zusammen, indem wir die erste mit $\sin\zeta'$, die zweite mit $\cos\zeta'$ durchmultiplizieren und beide addieren, das anderemal, indem wir die erste mit $\cos\zeta'$, die zweite mit $-\sin\zeta'$ durchmultiplizieren und beide addieren. So entstehen mit den unten definierten Abkürzungen

**die drei Hauptformeln in strenger Form:**

$$\begin{aligned}
&\text{I} \quad \sin\delta = \mathfrak{A}\cos\delta + \mathfrak{B}\sin\zeta' + \mathfrak{C}\cos\zeta' + \mathfrak{D}\sin(2\zeta' + \delta) + \mathfrak{E}\cos(2\zeta' + \delta) \\
&\text{II} \quad \frac{H'}{H} = \lambda\{\cos\delta + \mathfrak{A}\sin\delta + \mathfrak{B}\cos\zeta' - \mathfrak{C}\sin\zeta' + \mathfrak{D}\cos(2\zeta' + \delta) - \mathfrak{E}\sin(2\zeta' + \delta)\} \qquad (30) \\
&\text{III} \quad \frac{Z'}{Z} = \mu + g\,\mathrm{ctg}\,i\cos(\zeta' + \delta) - h\,\mathrm{ctg}\,i\sin(\zeta' + \delta)
\end{aligned}$$

Dabei haben wir die folgenden, allgemein üblichen Abkürzungen eingeführt:

$$\begin{aligned}
&\lambda = 1 + \frac{a+e}{2} \\
&\mathfrak{D} = \frac{a-e}{2\lambda} && \mathfrak{B} = \frac{1}{\lambda}\left(c\,\mathrm{tg}\,i + \frac{P}{H}\right) \\
&\mathfrak{A} = \frac{d-b}{2\lambda} && \mathfrak{C} = \frac{1}{\lambda}\left(f\,\mathrm{tg}\,i + \frac{Q}{H}\right) \qquad (31) \\
&\mathfrak{E} = \frac{d+b}{2\lambda} && \mu = 1 + k + \frac{R}{Z}
\end{aligned}$$

Mittels dieser Gleichungen können wir aus dem auf dem Kurse $\zeta'$ beobachteten, gestörten Feld $(D', H', Z')$ mit Hülfe der neun Koeffizienten: $\lambda$, $\mu$, $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$, $g$, $h$ das wahre Feld $(D, H, Z)$ bestimmen; umgekehrt bieten sie uns das Mittel, aus der Beobachtung verschiedener Felder an Bord auf verschiedenen Kursen bei bekanntem $D$, $H$, $Z$ die Größe jener neun Koeffizienten und damit die magnetischen Eigenschaften des Schiffes abzuleiten.

## § 38. Die drei Hauptformeln in erster und zweiter Annäherung.

Die drei Hauptformeln I—III sind für den Zweck der Korrektion nicht nur unnötig genau, sondern auch sehr unbequem. Wir können sie bedeutend vereinfachen, wenn wir uns auf die erste Annäherung beschränken; wir wollen jedoch auch noch die Glieder zweiter Ordnung in der Form von Restgliedern beibehalten, um uns jederzeit überzeugen zu können, ob und welche Rolle die Glieder zweiter Ordnung spielen. Dabei bezeichnen wir eine Größe vom Rang $\delta^n$ als ein Glied $n$ter Ordnung; offenbar sind die Koeffizienten $\mathfrak{A}..\mathfrak{E}$ Glieder erster Ordnung; ebenso sollen $\lambda - 1$, $\mu - 1$, $g$ und $h$ Glieder erster Ordnung sein.

Wir entwickeln nun jedes Glied unserer strengen drei Hauptformeln, in welchem $\delta$ auftritt, nach Potenzen von $\delta$ und behalten nur die Glieder erster und zweiter Ordnung zurück. Dabei schreiben wir die Glieder erster Ordnung ausführlich an, während alle Glieder zweiter Ordnung in den Restgliedern $\mathfrak{R}_\delta$, $\mathfrak{R}_H$, $\mathfrak{R}_Z$ zusammengefaßt sein mögen; so erhalten wir

**die drei Hauptformeln in erster Annäherung:**

$$\begin{aligned}
&\text{I}' \quad \delta = \mathfrak{A} + \mathfrak{B}\sin\zeta' + \mathfrak{C}\cos\zeta' + \mathfrak{D}\sin 2\zeta' + \mathfrak{E}\cos 2\zeta' + \mathfrak{R}_\delta \\
&\text{II}' \quad \frac{H'}{H} = \lambda\{1 + \mathfrak{B}\cos\zeta' - \mathfrak{C}\sin\zeta' + \mathfrak{D}\cos 2\zeta' - \mathfrak{E}\sin 2\zeta'\} + \lambda\mathfrak{R}_H \qquad (32) \\
&\text{III}' \quad \frac{Z'}{Z} = \mu + g\,\mathrm{ctg}\,i\cos\zeta' - h\,\mathrm{ctg}\,i\sin\zeta' + \mathfrak{R}_Z
\end{aligned}$$

Die genäherten Hauptformeln enthalten auf der rechten Seite $\delta$ nicht mehr in erster Ordnung; wir können also für jedes an Bord beobachtete Element, $D'$, $H'$, $Z'$, allein aus dem beobachteten Kompaßkurs $\zeta'$ bei bekannten Schiffskoeffizienten die zugehörige Korrektion ableiten. Dagegen ist $\delta$ in den Restgliedern ihrer Definition noch in folgender Form enthalten:

$$\begin{aligned} +\mathfrak{R}_\delta &= \delta(\mathfrak{D}\cos 2\zeta' - \mathfrak{E}\sin 2\zeta') \\ -\mathfrak{R}_H &= \tfrac{1}{2}\delta^2 + \delta(\mathfrak{D}\sin 2\zeta' + \mathfrak{E}\cos 2\zeta') - \mathfrak{A}\delta \\ -\mathfrak{R}_Z \operatorname{tg} i &= \delta(g\sin 2\zeta' + h\cos\zeta') \end{aligned}$$

Wir wollen auch noch die Restglieder von $\delta$ befreien und sie lediglich als Funktionen des Kompaßkurses $\zeta'$ und der neun Schiffskoeffizienten darstellen; zu dem Zweck ersetzen wir überall $\delta$ durch die Formel I', natürlich ohne $\mathfrak{R}_\delta$, da wir uns ja auf die Glieder zweiter Ordnung beschränken wollen. So erhalten wir

**die Restglieder zweiter Ordnung:**

$$\begin{aligned} -\mathfrak{R}_\delta = {} & \tfrac{1}{2}(\mathfrak{C}\mathfrak{E}+\mathfrak{B}\mathfrak{D})\sin\zeta' - \tfrac{1}{2}(\mathfrak{C}\mathfrak{D}-\mathfrak{B}\mathfrak{E})\cos\zeta' \\ & + \mathfrak{A}\mathfrak{E}\sin 2\zeta' - \mathfrak{A}\mathfrak{D}\cos 2\zeta' \\ & + \tfrac{1}{2}(\mathfrak{C}\mathfrak{E}-\mathfrak{B}\mathfrak{D})\sin 3\zeta' - \tfrac{1}{2}(\mathfrak{C}\mathfrak{D}+\mathfrak{B}\mathfrak{E})\cos 3\zeta' \\ & + \tfrac{1}{2}(\mathfrak{E}^2-\mathfrak{D}^2)\sin 4\zeta' - \mathfrak{E}\mathfrak{D}\cos 4\zeta' \\ -\mathfrak{R}_H = {} & -\tfrac{1}{2}\mathfrak{A}^2 + \tfrac{1}{4}(\mathfrak{B}^2+\mathfrak{C}^2) + (\mathfrak{C}\mathfrak{D}-\mathfrak{B}\mathfrak{E})\sin\zeta' + (\mathfrak{C}\mathfrak{E}+\mathfrak{B}\mathfrak{D})\cos\zeta' \\ & + \tfrac{3}{4}(\mathfrak{D}^2+\mathfrak{E}^2) + (\mathfrak{A}\mathfrak{D}+\tfrac{1}{2}\mathfrak{B}\mathfrak{C})\sin 2\zeta' + \left(\mathfrak{A}\mathfrak{E}-\tfrac{1}{4}(\mathfrak{B}^2-\mathfrak{C}^2)\right)\cos 2\zeta' \\ & + (\mathfrak{C}\mathfrak{D}+\mathfrak{B}\mathfrak{E})\sin 3\zeta' + (\mathfrak{C}\mathfrak{E}-\mathfrak{B}\mathfrak{D})\cos 3\zeta' \\ & + \tfrac{3}{2}\mathfrak{D}\mathfrak{E}\sin 4\zeta' + \tfrac{3}{4}(\mathfrak{E}^2-\mathfrak{D}^2)\cos 4\zeta' \\ -\mathfrak{R}_Z \operatorname{tg} i = {} & \tfrac{1}{2}(\mathfrak{B}g+\mathfrak{C}h) + \left(\mathfrak{A}g+\tfrac{1}{2}(\mathfrak{D}h-\mathfrak{E}g)\right)\sin\zeta' + \left(\mathfrak{A}h+\tfrac{1}{2}(\mathfrak{E}h+\mathfrak{D}g)\right)\cos\zeta' \\ & + \tfrac{1}{2}(\mathfrak{C}g+\mathfrak{B}h)\sin 2\zeta' + \tfrac{1}{2}(\mathfrak{C}h-\mathfrak{B}g)\cos 2\zeta' \\ & + \tfrac{1}{2}(\mathfrak{E}g+\mathfrak{D}h)\sin 3\zeta' + \tfrac{1}{2}(\mathfrak{E}h-\mathfrak{D}g)\cos 3\zeta' \end{aligned} \tag{33}$$

Bei Schiffen, welche der wissenschaftlichen Erforschung des Erdmagnetismus auf See dienen, werden in der Regel die Hauptformeln in erster Annäherung I'—III' zur Korrektion der Seebeobachtungen genügen. Die Restglieder können fast immer vernachlässigt werden, und wenn es in Ausnahmefällen (I' und II' in sehr hohen, III' in sehr niedrigen Breiten) vorkommt, daß sie zu berücksichtigen sind, so sind es immer nur vereinzelte Glieder der obigen komplizierten Ausdrücke, welche bei der erreichbaren Genauigkeit überhaupt in Betracht kommen.

Das sicherste und bequemste Verfahren ist es, die strengen Hauptformeln zur Berechnung der Schiffskoeffizienten, die genäherten Hauptformeln (im allgemeinen ohne die $\mathfrak{R}$) zur Berechnung der Korrektionen zu verwenden. Man entgeht dadurch einerseits der Gefahr, die Ermittlung der Koeffizienten auf eine nicht ganz gerechtfertigte Voraussetzung zu begründen, andererseits kann man sich bei der Verwendung derselben zur Korrektion vollkommen sicherstellen, keine unzulässige Vernachlässigung begangen zu haben.

## § 39. Ableitung der $H$-Koeffizienten bis zu den Gliedern zweiter Ordnung ohne $\delta$ allein aus $H$-Beobachtungen.

Wenn wir die unbekannten $H$-Koeffizienten mit möglichst wenig Vernachlässigungen, also mit Einbeziehung der Glieder zweiter Ordnung aus $H$-Beobachtungen bestimmen wollen, so kann es sehr störend sein, daß wir außer $H$-Beobachtungen auch noch $\delta$-Beobachtungen brauchen (Formel II bzw. II'). Wie der entwickelte Ausdruck für $\mathfrak{R}_H$ zeigt, gibt es jedoch ein Rechenverfahren, auch ohne die $\delta$ die Koeffizienten bis zur zweiten Ordnung zu bestimmen, indem wir die $(H':H)$-Werte als Funktionen auch des drei- und vierfachen Kompaßkurses ansetzen; dies ist jedoch sehr kompliziert und erfordert unnötig viele Beobachtungen (mindestens auf 8 Kursen).

Es mag daher hier und da folgender Zusammenhang zwischen Beobachtung und Koeffizienten von Nutzen sein, welcher genauer ist, als ihn die angenäherte Formel II' ohne $\mathfrak{R}_H$ liefert, und welcher doch nicht mehr als 5 Beobachtungen erfordert. Wir schreiben die beiden ersten Formeln 29, indem wir das unbekannte $\zeta$ durch das bekannte $\zeta'$ und durch die erste Potenz von $\delta$ ausdrücken:

$$\frac{H'}{H}\cos\zeta' = (1+a)\cos\zeta' - b\sin\zeta' + c\,\mathrm{tg}\,i + \frac{P}{H} - \delta\left((1+a)\sin\zeta' + b\cos\zeta'\right)$$

$$-\frac{H'}{H}\sin\zeta' = d\cos\zeta' - (1+e)\sin\zeta' + f\,\mathrm{tg}\,i + \frac{Q}{H} - \delta\left(d\sin\zeta' + (1+e)\cos\zeta'\right)$$

Damit haben wir alle Glieder erster und zweiter Ordnung beibehalten, alle höheren eliminiert. Aus diesen beiden Gleichungen eliminieren wir $\delta$ und erhalten folgende Schlußgleichung:

$$\frac{H'}{H} = \mathfrak{H}_1 + \mathfrak{H}_2\cos\zeta' - \mathfrak{H}_3\sin\zeta' + \mathfrak{D}\frac{H'}{H}\cos 2\zeta' - \mathfrak{E}\frac{H'}{H}\sin 2\zeta' \tag{34}$$

Dabei haben wir außer den in dem System 31 definierten Abkürzungen noch folgende Bezeichnungen eingeführt:

$$\begin{aligned}\mathfrak{H}_1 &= \lambda(1+\mathfrak{A}^2-\mathfrak{E}^2-\mathfrak{D}^2)\\ \mathfrak{H}_2 &= \lambda\left(\mathfrak{B}(1-\mathfrak{D})-\mathfrak{C}(\mathfrak{E}-\mathfrak{A})\right)\\ \mathfrak{H}_3 &= \lambda\left(\mathfrak{C}(1+\mathfrak{D})-\mathfrak{B}(\mathfrak{E}+\mathfrak{A})\right)\end{aligned} \tag{35}$$

Man sieht leicht, daß wir damit die Horizontalkoeffizienten außer $\mathfrak{A}$ bis zu den Größen zweiter Ordnung ableiten können. $\mathfrak{A}$ kommt nur als Glied zweiter Ordnung vor, das glücklicherweise praktisch immer zu vernachlässigen sein wird. Vernachlässigen wir in Gleichung 35 alle Gieder zweiter Ordnung, so erhalten wir die genäherte Formel II'.

## § 40. Über die physikalische Natur der Deviationskoeffizienten.

Die Hauptdeviationsformeln I—III geben den Zusammenhang zwischen dem konstanten, wahren Feld und dem veränderlichen, gestörten Feld an Bord wieder, wie es sich bei der Drehung des Schiffes um eine vertikale Achse einstellt.

Bei einer solchen Drehung werden nur die horizontal gelagerten, weichen Eisenmassen allen möglichen Magnetisierungen ausgesetzt; es läßt sich daher voraussehen, daß durch Beobachtung einer genügenden Anzahl von gestörten Feldern, wo also verschiedene Kombinationen der wahren Horizontalkomponenten $X$, $Y$ zur Einwirkung gelangen (Gleichungen 28), alle Konstanten der Horizontalinduktion sich ermitteln lassen werden. Tatsächlich rühren diejenigen Koeffizienten unserer Hauptformeln, welche ihrer Definition nach (Gleichungen 31) Konstante sind, von den horizontal induzierten, weichen Eisenmassen her. Es sind dies die konstanten Koeffizienten $\lambda$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{E}$, $g$, $h$, aus welchen sich ohne weiteres die sechs, mit $X$ und $Y$ multiplizierten Konstanten der Poissonschen Formeln ableiten lassen. Diese lassen sich also an jedem Ort durch Beobachtungen auf verschiedenen Kursen bestimmen.

Anders verhalten sich die vertikal induzierten, weichen Eisenmassen den Schiffsdrehungen gegenüber: ihre Magnetisierung bleibt bei einem vollen Kreislauf des Schiffes vollständig unverändert, sie verhalten sich wie permanente Magnete. Daher treten denn auch die Konstanten der Vertikalinduktion $c, f, k$ zusammen mit den Feldkomponenten des permanenten Schiffsmagnetismus $P$, $Q$, $R$ in unzertrennlichen Kombinationen auf, in den drei Koeffizienten $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mu$ (Gleichungen 31), und statt der zwölf Konstanten der Poissonschen Gleichungen 28 brauchen wir nur die neun Koeffizienten unserer drei Hauptformeln, um an einem und demselben Ort das wahre und das gestörte Feld einander eindeutig zuzuordnen. Dafür sind diese Koeffizienten $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mu$ keine Konstanten mehr, sondern von Ort zu Ort veränderlich; ihrer Definition nach hängen $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{C}$ von $H$ und $i$, $\mu$ von $Z$ ab. Man löst sie in ihre einzelnen Bestandteile auf, indem man ihre Werte an mehreren (mindestens zwei) Orten von möglichst verschiedener Inklination ermittelt. Man kann sie jedoch auch an einem und demselben Ort auflösen: geradeso wie wir die Konstanten der Horizontalinduktion durch Drehen des Schiffes um eine vertikale Achse zu bestimmen vermochten, können wir die Konstanten der Vertikalinduktion durch Neigen des Schiffes um eine horizontale Achse ermitteln; der Natur der Sache nach sind jedoch solchen Neigungen enge Grenzen gezogen (siehe die Formeln von § 44).

Was die Konstanz der magnetischen Eigenschaften des Schiffseisens betrifft, so zeigt die Erfahrung, daß die horizontalen weichen Eisenmassen, welche durch die häufigen Drehungen des Schiffes einer fortwährenden Veränderung ihrer Magnetisierung ausgesetzt sind, beständigere und sicherer definierte magnetische Eigenschaften haben, als die vertikalen weichen Eisenmassen und die permanent magnetischen Teile des Schiffes. Offenbar ist der Unterschied zwischen den beiden letzteren Bestandteilen des Schiffseisens kein ganz scharfer; da die Magnetisierung der vertikal induzierten Massen sich nur sehr langsam und stetig mit dem Ort verändert, bleibt von dem temporären Magnetismus auch nach Änderung des erregenden Felds noch ein Teil eine Zeitlang als remanenter Magnetismus in Wirksamkeit, der aber mit der Zeit verschwindet. So kommt es, daß die Konstanten $c$, $f$, $k$ und $P$, $Q$, $R$ immer weniger sicher definiert sind, als die Konstanten der Horizontalinduktion, und daß die Größen $P$, $Q$, $R$ mit der Zeit vielfach beträchtlichen Veränderungen unterliegen. Vergleiche hierzu die Übersichtstabelle in § 63.

## § 41. Charakterisierung der Deviationskoeffizienten nach ihrer praktischen Bedeutung.

Wir wollen uns an der Hand der Hauptformeln noch einen Einblick in die verschiedenartigen Rollen verschaffen, welche die einzelnen Koeffizienten bei dem Zusammenhang zwischen dem wahren und dem gestörten Feld spielen. Wir unterscheiden in dieser Hinsicht zuerst

**Mittelwertskoeffizienten und Drehungskoeffizienten.**

Wie aus der Form der Gleichungen 32 hervorgeht, nehmen die drei Koeffizienten $\mathfrak{A}$, $\lambda$ und $\mu$ eine ausgezeichnete Stelle gegenüber den übrigen Koeffizienten ein. Bekanntlich ist der Mittelwert irgend einer trigonometrischen Funktion von $\zeta'$ oder eines Vielfachen von $\zeta'$, genommen über eine Anzahl von äquidistanten Kursen, $=0$; bilden wir demnach den Mittelwert irgend einer der drei Hauptdeviationsgrößen, die wir auf einer bestimmten Anzahl äquidistanter Kurse ermittelt haben (wir bezeichnen denselben mit $\mathfrak{M}$), so erhalten wir aus den Gleichungen 32 ohne Berücksichtigung der Restglieder sofort:

$$\begin{aligned} \mathfrak{M}\ (\delta) &= \mathfrak{A} \quad \text{oder} \quad & \mathfrak{M}\,(D') &= \mathfrak{A} + D \\ \mathfrak{M}\left(\frac{H'}{H}\right) &= \lambda & \mathfrak{M}\,(H') &= \lambda\, H \\ \mathfrak{M}\left(\frac{Z'}{Z}\right) &= \mu & \mathfrak{M}\,(Z') &= \mu\, Z \end{aligned} \tag{36}$$

Die Mittelwertkoeffizienten $\mathfrak{A}$, $\lambda$ und $\mu$ sind also notwendig, aber auch hinreichend, um allein aus Bordbeobachtungen den wahren Wert der drei magnetischen Elemente auf See zu bestimmen. Andererseits können die Mittelwertkoeffizienten selber nur mittels des Werts der ungestörten magnetischen Elemente, also aus Beobachtungen an Bord und an Land am selben Ort, bestimmt werden.

Die Bedeutung der übrigen Koeffizienten tritt am besten zutage, wenn wir die Gleichungen 36 in die Hauptformeln 32 einsetzen, wobei wir erhalten

$$\begin{aligned} D' &= \mathfrak{M}(D') \quad + \mathfrak{B}\sin\zeta' + \mathfrak{C}\cos\zeta' + \mathfrak{D}\sin 2\zeta' + \mathfrak{E}\cos 2\zeta' \\ H' &= \mathfrak{M}(H')[1 + \mathfrak{B}\cos\zeta' - \mathfrak{C}\sin\zeta' + \mathfrak{D}\cos 2\zeta' - \mathfrak{E}\sin 2\zeta'] \\ Z' &= \mathfrak{M}(Z')[1 + g\,\mathrm{ctg}\,i\cos\zeta' - h\,\mathrm{ctg}\,i\sin\zeta'] \end{aligned} \tag{37}$$

Die Koeffizienten $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$. $\mathfrak{E}$, $g$, $h$, die wir Drehungskoeffizienten nennen, regulieren die Veränderung des gestörten Felds an Bord bei der Drehung des Schiffes und bestimmen das Feld eines bestimmten Kurses allein aus dem mittleren gestörten Feld. Andererseits sind zur Ermittlung der Drehungskoeffizienten keine Landbeobachtungen nötig, sie können allein durch Beobachtungen auf verschiedenen Kursen auf hoher See bestimmt werden.

Wir haben uns im obigen absichtlich auf die Größen erster Ordnung beschränkt, um die Hauptsachen hervortreten zu lassen, und weil die Größen zweiter Ordnung an Bord des „Gauss" überhaupt nur in vereinzelten Ausnahmefällen in Frage kommen. Mit Berücksichtigung der

Gleichungen 33 ist es jedoch nicht schwer, diejenigen Ergänzungen abzuleiten, welche bei Einbeziehung auch der Größen zweiter Ordnung nötig werden.

### Semikursale und quadrantale Deviation.

Innerhalb der Drehungskoeffizienten selber pflegt man noch die zwei Gruppen besonders zu unterscheiden, die mit einer Funktion des einfachen oder des doppelten Kurses multipliziert sind. Man sagt, die Koeffizienten $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{C}$ bringen eine „semikursale Deviation" hervor, weil das Vorzeichen dieses Deviationsanteils einen ganzen Halbkreis hindurch dasselbe bleibt; entsprechend wird der von $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{E}$ herrührende Anteil die „quadrantale Deviation" genannt, weil das Vorzeichen desselben von Quadrant zu Quadrant wechselt.

Aus der im letzten Paragraphen dargelegten physikalischen Bedeutung der Koeffizienten geht hervor, daß die semikursale Deviation vom permanent magnetischen und vertikal induzierten Schiffseisen, dagegen die quadrantale vom weichen Schiffseisen verursacht wird.

Endlich wollen wir noch eine weitere, praktisch wichtige Unterscheidung hervorheben:

### Die symmetrischen und unsymmetrischen Koeffizienten.

Bekanntlich sind aus praktischen Gründen die Eisenmassen an Bord symmetrisch zum mittleren Längsschnitt des Schiffes angeordnet; jedenfalls sind diejenigen Eisenteile, die nicht ihr symmetrisches Gegenstück auf der anderen Seite des Schiffes haben, immer klein gegenüber den symmetrisch angeordneten Massen. So kommt es denn, daß eine ganze Anzahl von Koeffizienten gegenüber gewissen Hauptkoeffizienten nur eine geringe Rolle spielen.

In unserem Koordinatensystem an Bord ist die $X$-$Z$-Ebene die Symmetrieebene; sind nun die Eisenmassen genau symmetrisch angeordnet, so muß auch der Zusammenhang zwischen dem wahren und gestörten Feld auf Steuerbord- und Backbordseite einander genau entsprechen. Wenn also $Y$ das Vorzeichen wechselt, müssen $X'$, $Z'$ unverändert bleiben, während $Y'$ ebenfalls das Vorzeichen wechselt; dies ist nur der Fall, wenn in den Poissonschen Grundgleichungen 28 die Konstanten $b$, $d$, $f$, $Q$, $h$ verschwinden. Diese rühren also von dem unsymmetrisch angeordneten, die übrigen sieben Konstanten von dem symmetrisch angeordneten Schiffseisen her. Vergleiche dazu auch die instruktive Tafel I im „Manual": „Diagramm showing the positions of the nine soft iron rods, which represent the whole of the soft iron of a ship, as regards its action on the compass".

In den Deviationsformeln treten jedoch nicht die zwölf Poissonschen Konstanten, sondern nur gewisse Funktionen derselben, die neun Deviationskoeffizienten auf, und nach den Definitionsgleichungen 31 können wir sagen:

Die „symmetrischen" Koeffizienten $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{D}$, $\lambda$, $\mu$, $g$ sind in der Regel die Hauptkoeffizienten und erreichen die größten Beträge, da sie vom symmetrisch angeordneten Schiffseisen herrühren; ihnen gegenüber sind die vom unsymmetrisch angeordneten Schiffseisen herrührenden „unsymmetrischen" Koeffizienten $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{E}$, $h$ in der Regel von untergeordneter Bedeutung.

## § 42. Zur Ermittlung der Koeffizienten aus Beobachtung und Rechnung.

Wir beschränken uns hier auf einige allgemeine Bemerkungen, da der nächste Abschnitt eine größere Anzahl von praktischen Beispielen enthält.

Es empfiehlt sich, die Drehungskoeffizienten während der Reise in regelmäßigen Zeitabschnitten, etwa alle vierzehn Tage, auf hoher See neu zu bestimmen. Jede Landung dagegen sollte zur Neubestimmung der Mittelwertkoeffizienten benützt werden. Das Hauptaugenmerk ist dabei darauf zu richten, daß 1. die Landbeobachtungen ganz genau in derselben Weise wie an Bord ausgeführt werden, wodurch etwaige Instrumentalfehler eliminiert werden, 2. daß die an der Landstation herrschenden magnetischen Elemente auch wirklich identisch sind mit den wahren Elementen am Ort der Schiffsdrehungen. Die richtige Erfüllung dieser letzten Bedingung bereitet namentlich bei Insellandungen wegen der zu befürchtenden lokalen Störungen oft sehr erhebliche Schwierigkeiten; und wenn überhaupt, so ist vielfach nur eine eingehende magnetische Vermessung des ganzen Landungsgebietes imstande, brauchbare Werte der Mittelwertkoeffizienten zu liefern (vgl. St. Helena, São Miguel).

Was die Methoden betrifft, so ist es am besten, den Hauptformeln entsprechend $D'$, $H'$, $Z'$ zu bestimmen; $D$ mit dem Kompaß, $H$ mit meinem Doppelkompaß oder dem viel ungenaueren Deviationsmagnetometer, $Z$ mittels Ablenkungen am Lloyd-Creak-Apparat. Es ist dringend erwünscht, namentlich die $Z$-Bestimmungen nach zwei verschiedenen Methoden anzustellen, da die $Z$-Beobachtungen erfahrungsgemäß immer weniger sicher werden, als die $H$-Beobachtungen.

Da es sich bei den Deviationsbestimmungen nur um Aufdeckung kleiner Differenzen handelt, ist es bei den $H$- und $Z$-Messungen zweckmäßig, die Instrumente auf die höchste, praktisch brauchbare Empfindlichkeit einzustellen, bei der Sinus-Ablenkung also etwa Winkel von $60^0$ zu verwenden. Will man die Koeffizienten bis auf die Größen zweiter Ordnung sicher haben, müssen die Beobachtungen mindestens auf acht äquidistanten Kursen angestellt werden.

Die Berechnung der Koeffizienten erfolgt, wenn man über die Ordnung der zu vernachlässigenden Größen nicht ganz sicher ist, am besten, indem man die Bord- und Landbeobachtungen in die strengen Hauptformeln 30 einsetzt, und nach der Methode der kleinsten Quadrate die Koeffizienten mit ihren mittleren Fehlern berechnet. Weiß man jedoch sicher, daß die Größen zweiter Ordnung keine Rolle spielen, so erzielt man durch die Verwendung der angenäherten Hauptformeln 32 eine ganz bedeutende Vereinfachung in der Rechnung; vgl. Jordan, Handbuch der Vermessungskunde, I. Band § 36, 1904.

## § 43. Zusammenstellung der Deviationsformeln für alle Elemente.

Wir stellen uns nun auf den Standpunkt, daß die Koeffizienten bekannt und auch die veränderlichen unter ihnen in ihre Bestandteile aufgelöst seien. Nunmehr soll es sich darum handeln, mit ihrer Hilfe irgend welche Beobachtungen an Bord wegen Schiffseisens zu korrigieren und die wahren Elemente des erdmagnetischen Felds zu bestimmen. Für dieses Korrektionsgeschäft sind die angenäherten Formeln 32 durchaus vorzuziehen; man überzeugt

sich leicht, ob und in welchen Fällen auch Bestandteile der Restglieder zur Erreichung einer bestimmten Genauigkeit in die Korrektionsformeln aufzunehmen sind.

Für die Beobachungen von $D'$, $H'$, $Z'$ sind die Korrektionsformeln durch die Gleichungen 32 unmittelbar gegeben; für die Beobachtungen von $T'$ und $i'$ sind sie aus den Formeln II' und III' leicht zusammenzustellen. So erhalten wir schließlich die wahren Werte aller magnetischen Elemente aus den entsprechenden gestörten Werten und aus den 3 Hauptdeviationsgrößen $\delta$, $\frac{H'}{H}$, $\frac{Z'}{Z}$ der Gleichungen 32 in folgender Weise:

$$
\begin{aligned}
\boldsymbol{D} &= D' - \delta \\
\log \boldsymbol{H} &= \log H' - \log \frac{H'}{H} \\
\log \boldsymbol{Z} &= \log Z' - \log \frac{Z'}{Z} \\
\log \operatorname{tg} \boldsymbol{i} &= \log \operatorname{tg} i' + \log \frac{H'}{H} - \log \frac{Z'}{Z} \text{ streng} \\
\text{oder } i &= i' + \tfrac{1}{2} \sin 2 i' \left( \frac{H'}{H} - \frac{Z'}{Z} \right) \text{ genähert} \\
\log \boldsymbol{T} &= \log T' - \log \frac{T'}{T};
\end{aligned}
\tag{38}
$$

$$
\begin{aligned}
\text{dabei ist } \frac{T'}{T} &= \tfrac{1}{2} \left( \frac{H'}{H} + \frac{Z'}{Z} \right) \cos(i - i') + \tfrac{1}{2} \left( \frac{H'}{H} - \frac{Z'}{Z} \right) \cos(i + i') \text{ streng} \\
&= \tfrac{1}{2} \left( \frac{H'}{H} + \frac{Z'}{Z} \right) + \tfrac{1}{2} \left( \frac{H'}{H} - \frac{Z'}{Z} \right) \cos 2 i' \text{ in vollkommen genügender Annäherung.}
\end{aligned}
$$

Im III. Abschnitt unseres Kapitels ist die Anlage des Korrektionsgeschäfts in eine zweckmäßige Form gebracht und praktisch durchgeführt.

## § 44. Einfluss der Schiffsneigung. Ermittlung aller 12 Schiffskonstanten an einem Ort.

Geradeso wie sich das Feld an Bord bei Drehung des Schiffes um eine vertikale Achse ändert, tritt dies auch ein bei einer zweiten, noch viel häufigeren Bewegungsart des Schiffes, beim „Schlingern", d. h. bei Drehung des Schiffes um eine horizontale, im mittleren Längsschnitt liegende Achse. Wir finden den Zusammenhang zwischen dem wahren Feld und dem gestörten Feld bei einer Neigung des Schiffes um den Winkel $\nu$, den wir positiv nach Steuerbord rechnen, wenn wir auf das mit dem Schiff jetzt halbfest verbundene Koordinatensystem zurückgehen, dessen $X$-Achse horizontal nach vorne, dessen $Y$-Achse horizontal nach Steuerbord und dessen $Z$-Achse vertikal nach abwärts zeigt. Dieselben Überlegungen, wie wir sie in § 36 angestellt haben, zeigen uns, daß das gestörte Feld, dessen Komponenten wir in unserem Fall mit $X'_\nu$, $Y'_\nu$, $Z'_\nu$ bezeichnen wollen, mit dem wahren Feld $X$, $Y$, $Z$ genau in demselben formalen Zusammenhang steht, wie er in den Poissonschen Formeln 28 zum Ausdruck kommt. Wir haben also:

$$\begin{aligned} X'_\nu &= X + a_\nu X + b_\nu Y + c_\nu Z + P_\nu \\ Y'_\nu &= Y + d_\nu X + e_\nu Y + f_\nu Z + Q_\nu \\ Z'_\nu &= Z + g_\nu X + h_\nu Y + k_\nu Z + R_\nu \end{aligned} \tag{39}$$

Natürlich haben die Konstanten $a_\nu \ldots R_\nu$ andere Werte, als die entsprechenden Konstanten der Formeln 28; wir finden aber den Zusammenhang beider Gruppen durch eine Koordinatentransformation[1]) in folgenden Gleichungen wiedergegeben:

$$\begin{aligned} a_\nu &= a \\ b_\nu &= b\cos\nu - c\sin\nu \\ c_\nu &= c\cos\nu + b\sin\nu \\ d_\nu &= d\cos\nu - g\sin\nu \\ g_\nu &= g\cos\nu + d\sin\nu \\ P_\nu &= P \\ Q_\nu &= Q\cos\nu - R\sin\nu \\ R_\nu &= R\cos\nu + Q\sin\nu \\ e_\nu &= e - (f+h)\cos\nu\sin\nu - (e-k)\sin^2\nu \\ f_\nu &= f + (e-k)\cos\nu\sin\nu - (f+h)\sin^2\nu \\ h_\nu &= h + (e-k)\cos\nu\sin\nu - (f+h)\sin^2\nu \\ k_\nu &= k + (f+h)\cos\nu\sin\nu + (e-k)\sin^2\nu \end{aligned} \tag{40}$$

Alle Entwicklungen nun, die wir an die Formeln 28 angeknüpft haben, können wir unmittelbar auf die Formeln 39 übertragen und bekommen dann für die Beobachtungen bei geneigtem Schiff vollständig gleichlautende Korrektionsformeln, in denen wir nur alle Koeffizienten mit Index $\nu$ zu versehen hätten, zum Zeichen, daß sie bei einer Neigung des Schiffes um den Winkel $\nu$ in Kraft treten. Die Formeln 40 setzen uns jedoch instand, die neuen Koeffizienten als Funktionen der alten Koeffizienten und des Winkels $\nu$ darzustellen. Es ist aber gar nicht nötig, diese komplizierten Formeln anzuschreiben, weil in praxi die meisten Glieder wegen ihrer Kleinheit wegfallen. Die für die Beobachtungen bei der Neigung $\nu$ geltenden Korrektionsformeln unterscheiden sich daher von den normalen nur durch einige unbedeutende, von $\nu$ abhängige Zusatzglieder. Siehe hierzu § 62.

Wie wir in § 40 schon angedeutet haben, und wie aus den Formeln 40 unschwer zu ersehen ist, kann man die Schiffsneigung dazu benützen, die Koeffizienten $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mu$ in ihre Bestandteile aufzulösen. Man braucht nur z. B. die Änderung der Koeffizienten $\mathfrak{D}$ $\mathfrak{E}$ und $h$ bei der Neigung zu bestimmen; es ist nämlich in erster Annäherung:

$$c = -\frac{d\mathfrak{E}}{d\nu} - g$$

$$f = +\frac{d\mathfrak{D}}{d\nu} - h$$

$$k = -\frac{dh}{d\nu} + e$$

[1]) Vgl. Manual, Appendix I No. XVI.

$g$, $h$, $e$ sind aber aus den Drehungen bei aufrechtem Schiff bekannt, also sind $c$, $f$, $k$ durch Neigungsversuche zu ermitteln, wodurch schließlich auch die Konstanten $P$, $Q$, $R$ abgeleitet werden können. Vgl. auch den Vorschlag in meiner „Anleitung" Seite 477 f.

## Abschnitt II. Die Beobachtungen auf den einzelnen Deviationsstationen.

### § 45. Kiel, 6. August 1901.

Herr Admiralitätsrat Professor Dr. Börgen hatte die Güte, diese erste Deviationsbestimmung an Bord des „Gauss" zu leiten, da mir die Sache gänzlich neu war. Herr Dr. Luyken übernahm freundlichst die gleichzeitigen Ablesungen am Regelkompaß, ich selbst stellte die Beobachtungen am Schlingertisch an. Die Beobachtungen an Bord wurden am 6. August p. m., die Beobachtungen an Land, vor und nachher, auf der östlichen Seite des Kieler Hafens, auf der „Hanneshöhe", am 5., 6. und 7. August angestellt. Die Temperaturverhältnisse an Bord und an Land waren nur unwesentlich verschieden, so daß sie nach den bekannten Temperatureigenschaften der Instrumente nicht berücksichtigt zu werden brauchen.

Die Deklination wurde durch Anpeilung der Zentralmarke des Kieler Bakensystems ermittelt. Das wahre magnetische Azimut der gepeilten Richtungen von der Zentralmarke nach den einzelnen Baken war bekannt. Die Zentralmarke wurde mit dem Fernrohr eingestellt, dadurch also die Mittellinie des Deklinationskästchens in ein bekanntes Azimut gebracht; darnach wurde dieselbe Mittellinie in die Richtung der eingelegten Nadel I eingestellt. Die unten mitgeteilten Ablesungen der Marke und der Nadel sind bereits auf ein und denselben Kurs, auf denjenigen der Nadelablesung, reduziert.

Zu den Schwingungen der Horizontalnadel wurden ebenfalls Nadel 1 von D. M.[1]) benutzt; beobachtet wurde jeder dritte Durchgang durch die Mittellage. Bei jedem Kurs wurde möglichst immer derselbe Anfangsausschlag von etwa 45° gewählt, und im ganzen zwei bis drei Sätze zu rund zehn Durchgängen beobachtet; unten sind die Mittelwerte jedes Satzes mitgeteilt.

Die übrigen Messungen wurden mit L. C.[2]) angestellt, nämlich Inklination mit Inklinationsnadel 1, je in zwei Lagen, mitgeteilt ist das mittlere

die Schwingungen der Vertikalnadel, in der Ebene senkrecht zum magnetischen Meridian mit der Intensitätsnadel 6 in gleicher Weise, wie bei der Horizontalnadel; es wurden jedoch wegen der viel stärkeren Dämpfung nur etwa sechs Durchgänge bei jedem Satz erzielt;

die Totalintensität mittels Ablenkungen der Nadel 6 durch Nadel 7 bei Kreis Ost und West; mitgeteilt ist der mittlere Ablenkungswinkel, außerdem noch die Mittellage der Ablenkungen, welche für die Inklinationsbestimmung verwertet wird.

Was die Bezeichnungen betrifft, so machen wir noch einmal auf die Festsetzung von § 36 aufmerksam, wonach die analogen Größen der wahren und der durch das Schiffseisen

---

[1]) Hier und im folgenden immer gebraucht für „Deviationsmagnetometer".
[2]) „Lloyd-Creak-Apparat".

gestörten Richtungen und Vektoren dadurch voneinander unterschieden werden, daß die letzteren mit einem Indexstrich versehen sind.

**Die Beobachtungen.**

| | | Deklination D. B. Fernrohr | Schwingungen Hor.-Nadel | | Schwingungen Vert.-N. | Inklination L. C. | Total-Intensität L. C. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | sec. | sec. | | |
| An Bord | Kurs Nord | Ablesung der Nadel 358.4° | 1. Satz | 5.43 | 4.85 | | |
| | | Ablesung der Marke 66.6 | 2. | 5.44 | 5.1 | | $\varphi' = 43° 37'$ |
| | | | 3. | | 5.18 | | |
| | | Magn. Az. d. Marke N 68.4 W | Mittel | 5.43 | 5.04 | $i' = 67° 50'$ | $i' = 67° 30'$ |
| | | N 2 O | N 3 W | | | N 1 W | N 1 W |
| | Kurs Nordost | Ablesung der Nadel 190.9° | 1. Satz | 5.51 | 4.7 | | |
| | | Ablesung der Marke 258.3 | 2. | 5.48 | 4.5 | | $\varphi' = 43° 49'$ |
| | | Magn. Az. d. Marke N 68.85 W | Mittel | 5.50 | 4.60 | $i' = 68° 44'$ | $i' = 68° 17'$ |
| | | N 45 O | N 50 O | | | N 47 O | N 49 O |
| | Kurs Ost | fällt aus wegen eintretender Dunkelheit | | | | | |
| | Kurs Südost | Ablesung der Nadel 220.4° | 1. Satz | 5.33 | 4.6 | | |
| | | Ablesung der Marke 292.3 | 2. | 5.23 | 5.0 | | $\varphi' = 43° 8'$ |
| | | Magn. Az. d. Marke N 69.4 W | Mittel | 5.28 | 4.80 | $i' = 67° 20'$ | $i' = 66° 52'$ |
| | | S 45 O | S 42 O | | | S 47 O | S 47 O |
| | Kurs Süd | Ablesung der Nadel 183.1° | 1. Satz | 5.21 | 5.26 | | |
| | | Ablesung der Marke 202.3 | 2. | 5.28 | 5.05 | | $\varphi' = 43° 4'$ |
| | | Magn. Az. d. Marke N 69.4 W | Mittel | 5.24 | 5.15 | $i' = 66° 35'$ | $i' = 66° 10'$ |
| | | S 4 O | S 4 O | | | S 2 O | S 4 O |
| | Kurs Südwest | Ablesung der Nadel 134.45° | 1. Satz | 5.23 | 5.3 | | |
| | | Ablesung der Marke 200.3 | 2. | 5.25 | 4.5 | | $\varphi' = 43° 11'$ |
| | | | 3. | | 4.7 | | |
| | | Magn. Az. d. Marke N 68.4 W | Mittel | 5.24 | 4.83 | $i' = 67° 0'$ | $i' = 67° 1'$ |
| | | S 51 W | S 49 W | | | S 48 W | S 49 W |
| | Kurs West | Ablesung der Nadel 93.3° | 1. Satz | 5.43 | 4.7 | | |
| | | Ablesung der Marke 158.75 | 2. | 5.44 | 5.3 | | $\varphi' = 43° 39'$ |
| | | Magn. Az. d. Marke N 68.6 W | Mittel | 5.44 | 5.00 | $i' = 68° 22'$ | $i' = 67° 56'$ |
| | | N 86 W | N 86 W | | | S 85 W | N 84 W |
| | Kurs Nordwest | Ablesung der Nadel 50.1° | 1. Satz | 5.47 | 4.36 | | |
| | | Ablesung der Marke 116.4 | 2. | 5.49 | 4.8 | | $\varphi' = 43° 56'$ |
| | | | 3. | | 4.75 | | |
| | | Magn. Az. d. Marke N 68.15 W | Mittel | 5.48 | 4.64 | $i' = 67° 49'$ | $i' = 67° 21'$ |
| | | N 45 W | N 45 W | | | N 40 W | N 43 W |

| | | Schwingungen Hor.-Nadel | | Schwingungen Vert.-N. | Inklination L. C. | Total-Intensität L. C. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| An Land | vorher | 1. Satz | 5.32 | 4.77 | | |
| | | 2. | 31 | 4.53 | | $\varphi = 42^\circ\ 40'$ |
| | | 3. | 35 | 4.52 | | |
| | | Mittel | 5.33 | 4.61 | $i = 68^\circ\ 14'$ | $i = 68^\circ\ 5'$ |
| | nachher | 1. Satz | 5.40 | 4.58 | | |
| | | 2. | 5.38 | 4.70 | | $\varphi = 42^\circ\ 30'$ |
| | | 3. | 5.35 | 4.40 | | |
| | | Mittel | 5.38 | 4.56 | $i = 68^\circ\ 18'$ | $i = 68^\circ\ 16'$ |
| | Gesamtmittel | | **5.36** | nicht benützt | **$i = 68^\circ\ 16'$** | **$\varphi = 42^\circ\ 35'$** **$i = 68^\circ\ 10'$** |

## Die Deviationen.

| Kurs | $\delta$ | | $\frac{H'}{H}$ aus den Schwingungen der Hor.-Nadel | | $\frac{H'}{H}$ aus $T$ u. $i$ | | $\frac{Z'}{Z}$ aus $T$ u. $i$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nord | N 2 O | + 0.2° | N 3 W | *0.974* | N 1 W | 1.005 | N 1 W | 0.977 |
| Nordost | N 45 O | + 1.45 | N 50 O | *0.950* | N 49 O | 0.966 | N 49 O | 0.979 |
| Ost | | | | | | | | |
| Südost | S 45 O | — 2.5 | S 42 O | *1.031* | S 47 O | 1.039 | S 47 O | 0.982 |
| Süd | S 4 O | — 0.6 | S 4 O | *1.046* | S 4 O | 1.071 | S 4 O | 0.978 |
| Südwest | S 51 W | + 2.55 | S 49 W | *1.046* | S 49 W | 1.042 | S 49 W | 0.980 |
| West | N 86 W | + 3.15 | N 86 W | *0.971* | N 87 W | 0.984 | N 87 W | 0.980 |
| Nordwest | N 45 W | + 1.85 | N 45 W | *0.957* nicht benützt s. § 64 | N 42 W | 1.003 | N 42 W | 0.971 |

## Die Koeffizienten.

| | | |
|---|---|---|
| $\mathfrak{A} = +\mathbf{13} \pm 5$ | $\lambda = \mathbf{1.012} \pm 4$ | |
| $\mathfrak{B} = -\mathbf{32} \pm 8$ | $\mathfrak{B} = -\mathbf{38} \pm 6$ | $\mu = \mathbf{0.978} \pm 1$ |
| $\mathfrak{C} = +\mathbf{13} \pm 6$ | $\mathfrak{C} = +\mathbf{10} \pm 6$ | $\mathfrak{g} = -\mathbf{7} \pm 4$ |
| $\mathfrak{D} = +\mathbf{18} \pm 6$ | $\mathfrak{D} = +\mathbf{29} \pm 7$ | $\mathfrak{h} = -\mathbf{4} \pm 5$ |
| $\mathfrak{E} = -\mathbf{13} \pm 8$ | $\mathfrak{E} = +\mathbf{6} \pm 6$ | |
| nach Formel I aus $\delta$ | nach Formel II aus $\frac{H'}{H}$ | nach Formel III |

Aus den Beobachtungen waren zunächst die Hauptdeviationsgrößen folgendermaßen ermittelt worden:

$\delta$, indem von dem wahren magnetischen Azimut der Zentralmarke der Winkel zwischen der Richtung nach der Marke und der Richtung der Nadel abgezogen wurde, die Hülfsgrößen $i'$ und $i$, indem die direkten Inklinationswerte mit den aus den Ablenkungen der Totalintensität abgeleiteten Werten gemittelt wurden;

$\frac{H'}{H}$ einmal aus den Schwingungen der Horizontalnadel nach der Formel: $\frac{\sec^2}{\sec'^2}$,

außerdem aus Totalintensität und Inklination nach Formel: $\frac{T' \cos i'}{T \cos i} = \frac{\sin\varphi \cos i'}{\sin\varphi' \cos i}$

$\frac{Z'}{Z}$ nur aus Totalintensität und Inklination nach Formel: $\frac{\sin\varphi \sin i'}{\sin\varphi' \sin i}$.

Die Schwingungen der Vertikalnadel sind als zu ungenau nicht benutzt; sie sind nur mitgeteilt, um zu zeigen, wie wenig sich Instrument und Nadeln von L. C. zum Schwingungsversuch eignen.

Aus den so ermittelten Deviationsgrößen mit zugehörigen Kursen wurden die Koeffizienten des Schiffseisens nach den strengen Hauptformeln I—III durch Ausgleichungsrechnung bestimmt. Über die $H$-Deviationen aus Schwingungen und die Ursache ihres konstanten Fehlers siehe § 64.

Die auf zwei ganz verschiedenen Wegen ermittelten horizontalen Koeffizienten stimmen innerhalb der Beobachtungsfehler überein, abgesehen von $\mathfrak{E}$. Das aus $H$ ermittelte $\mathfrak{E}$ verdient den Vorzug, da es auf viel mehr Beobachtungen beruht, als das andere. Die mittleren Fehler sind erheblich, worin einmal die Neuheit dieser Deviationsuntersuchungen für alle beteiligten Personen zum Ausdruck kommt, insbesondere aber, weil zu wenig Einzelbeobachtungen angestellt wurden, um die wenn auch geringen Schiffsschwankungen genügend zu eliminieren.

## § 46. São Vicente.

(Kapverdische Inseln).

Die Beobachtungen von São Vicente waren etwas vom Unstern verfolgt. Die nur wenige Tage im Jahr herrschende Regenzeit fiel gerade auf die Zeit unseres kurzen Aufenthalts; daher waren Wetter und See ungünstig, das Schiff schwankte namentlich während der Beobachtungen mit L. C. sehr heftig.

Am 13. September 1901 hatten wir das Schiff mit fremder Hilfe zu drehen versucht, indem wir es am Heck verankerten und vor den Bug einen Schlepper in genügender Entfernung spannten, der das Schiff auf jedem Kurs so lange halten sollte, bis die Beobachtungen fertig waren. Dies gelang nur sehr unvollkommen, einmal wegen der Ungunst des Wetters, sodann weil man sich auf fremde Hilfe nicht verlassen kann. Als wir später noch einmal gegen diese Erfahrungstatsache sündigten, hatten wir denselben Mißerfolg. Am besten bewährt hat sich die Methode des Drehens, die wir in den meisten Fällen angewandt haben, nämlich unter eigenen Dampf zu gehen und auf einem und demselben Gebiet kreuz und quer zu fahren, bis auf allen Kursen alle Arbeiten erledigt waren. Das Schiff fuhr dabei so langsam wie möglich, so daß es gerade noch gut steuerte; die Reihenfolge der Kurse war eine beliebige und richtete sich in jedem Fall nach den örtlichen Verhältnissen. Um nicht lange Strecken fahren zu

müssen, wurden die zu einem Kurs gehörigen Arbeiten nicht alle auf einmal erledigt, sondern geteilt, so daß derselbe Kurs zu verschiedenen Malen im Lauf der ganzen Untersuchung daran kam.

Der Ort der Schiffsdrehungen bei São Vicente war auf der Ostseite des Porto Grande von den äußersten dort befindlichen Bojen an auf Bird's Island zu.

Der **Ort der Landbeobachtungen** wurde mit Rücksicht auf etwaige lokale Störungen ausgesucht, welche bei der vulkanischen Natur der Insel zu befürchten waren. Gewählt wurde ein möglichst frei liegender Platz auf dem östlichen Ufer des Porto Grande. Er ist durch folgende Peilungen festgelegt:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bird's Island | peilt | N | 53.3° W | rechtweisend |
| Lazaret-Südkante | „ | S | 46.2 W | „ |
| Fort von Po. Grande | „ | S | 12.4 W | „ |

Um ganz grobe Störungen zu vermeiden, wurde zu Beginn der Untersuchungen am 12. September p. m. eine rohe Lokaluntersuchung folgendermaßen vorgenommen: an fünf Punkten, nämlich am eigentlichen Beobachtungsplatz und an vier weiteren, je etwa 25 m entfernten und in den magnetischen Hauptrichtungen liegenden Punkten (siehe nebenstehende Skizze), wurden mit D. M. ganz einfache Peilungen eines und desselben fernen Objekts (1 bis 2 Einstellungen), und außerdem einfache Messungen des Ablenkungswinkels (2 Einstellungen) vorgenommen, mit folgendem Resultat:

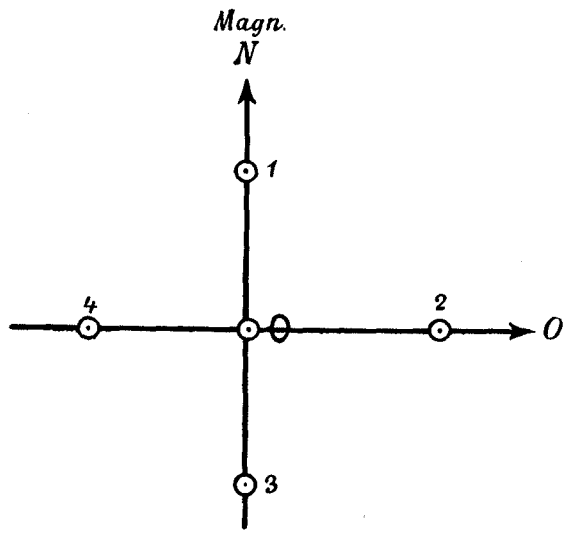


Abb. 9

| Punkt | Fernes Objekt peilt | Ablenkungswinkel $\varphi$ |
|---|---|---|
| 0 | 166.5° | 30.1° |
| 1 | 166.9 | 30.6 |
| 2 | 165.6 | 30.1 |
| 3 | 166.4 | 30.0 |
| 4 | 166.3 | 30.4 |

Ganz grobe Störungen waren also jedenfalls ausgeschlossen; die Unterschiede dieser Messungen rühren z. T. von der Roheit der Messungen her.

Die magnetischen Elemente des Beobachtungsorts wurden am 15. September a. m. in ausführlicher Weise bestimmt, wobei sich ergab:

$D =$ 19.5° W mit D. M. (Sonnenpeilung)
$i = +$ 38.0 mit L. C. (Nadel 1, vollständig)
$T =$ 0.3605 mit L. C. (A, $7_6$ und B, 7)[1]).

Um ein Urteil über die lokale Gestörtheit dieser Werte zu erhalten, vergleichen wir sie mit benachbarten ozeanischen Werten. $D$ scheint nach den Variationskarten der Admiralitäten

[1]) A, $7_6$ bedeutet den Ablenkungsversuch, bei welchem Nadel 6 durch Nadel 7 abgelenkt wird; B, 7 den Belastungsversuch, bei welchem die Inklination der belasteten Nadel 7 bestimmt wird.

nicht wesentlich gestört zu sein. $i$ stimmt gut mit meiner Beobachtung vom 11. September 1901 (Breite: 17° 44′ N, Länge 24° 54′ W), welche 38.7° ergeben hatte; die Differenz mit dem obigen Wert entspricht etwa der regulären Abnahme der Inklination zwischen den beiden Punkten. Die bisherigen Inklinationskarten sind in dieser Gegend fehlerhaft. Für $T$ haben wir in meiner Beobachtung vom 7. September 1901 (Breite: 24° 12′ N, Länge 21° 55′ W) einen sicheren Anhaltspunkt; sie hatte ergeben: $T = 0.395$. Nach den Karten des Reichsmarineamts von 1895 nimmt $T$ von dem Ort des 7. September bis São Vicente um 0.03 ab; so würden wir für São Vicente als ungestörten Wert erhalten $T = \mathbf{0.365}$. Diesen Wert wollen wir zur Berechnung von $\lambda$ und $\mu$ verwerten.

### Die Bordbeobachtungen.

Der Versuch, $D$ in Ermangelung der Sonne durch Gegenpeilung mit dem an Land aufgestellten Normalkompaß, den erster Offizier Lerche beobachtete, zu bestimmen, mißlang vollständig, da der Schlingertisch viel zu sehr schwankte, um mit dem direkt über der Tischplatte angeordneten und fortwährend in der Versenkung verschwindenden Fernrohr von D. M. beobachten zu können (vgl. Tafel III).

Die übrigen Beobachtungen, nämlich Schwingungen der Horizontal- und Vertikalnadel, Inklination und Totalintensität, wurden genau wie in Kiel 1901 angestellt. Die Schwingungen der Vertikalnadel sind diesmal gar nicht mitgeteilt, da sie viel zu ungenau sind. Auch die Schwingungen der Horizontalnadel geben wir nur aus methodischen Gründen wieder (§ 64), ohne sie für die Deviationen zu benutzen. Die Beobachtungen von $T$ und $i$ waren durch heftige Schiffsschwankungen sehr erschwert.

**Die Beobachtungen im Porto Grande, 13.—15. Sept. 1901.**

| | Kurs | Schwingungen Hor.-Ndl. (D. B.) | Inklination (L. C.) direkt | Inklination (L. C.) aus Abl. | Inklination (L. C.) Mittel | Totalintensität (L. C.) φ | Totalintensität (L. C.) t |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **An Bord** | N | *4.29* sec | 37° 50′ | 37° 3′ | 37° 26′ | 60° 36′ | rund 26° |
| | NO | *4.31* | 38 5 | 38 50 | 38 27 | 61 55 | |
| | O | *4.30* | 39 19 | 39 15 | 39 17 | 62 39 | |
| | SO | *4.24* | 38 13 | 37 55 | 38 4 | 60 28 | |
| | S | *4.15* | 35 29 | 36 25 | 35 57 | 58 39 | |
| | SW | *4.21* | 36 42 | 37 30 | 37 6 | 60 32 | |
| | W | *4.30* | 39 5 | 39 20 | 39 12 | 63 25 | |
| | NW | *4.31* | 39 36 | 38 50 | 39 13 | 62 44 | |
| **An Land** | 13. IX. | *4.27* | | 37 52 | | 62 41 | 33 |
| | 15. IX. | *4.25* | 38 29 | 38 2 | | 62 35 | 37 |
| | Mittel | *4.26* | 38° 29′ | 37° 57′ | 38° 13′ | 62° 38′ | 35° |

**Die Deviationen.**

| Kurs | $\frac{H'}{H}$ Schwingungen Hor.-Ndl. | $\frac{H'}{H}$ aus $T$ u. $i$ | $\frac{Z'}{Z}$ aus $T$ u. $i$ |
|---|---|---|---|
| N | *0.986* | 1.032 | 1.004 |
| NO | *0.977* | 1.005 | 1.014 |
| O | *0.981* | 0.987 | 1.026 |
| SO | *1.009* | 1.025 | 1.020 |
| S | *1.054* | 1.074 | 0.989 |
| SW | *1.024* | 1.038 | 0.997 |
| W | *0.981* | 0.981 | 1.016 |
| NW | *0.977* | 0.987 | 1.023 |
| | nicht benützt | | |

**Die Koeffizienten.**

gestörtes $T = 0.3605$ $\lambda = 1.017 \pm 1$ $\mu = 1.011 \pm 5$ gestört

wahrscheinliches $T = 0.365$ $\lambda = 1.004$ $\mu = 0.998$ abgeleitet

$\mathfrak{B} = -25 \pm 1$ $\mathfrak{g} = +5 \pm 6$

$\mathfrak{C} = -3 \pm 1$ $\mathfrak{h} = -4 \pm 6$

$\mathfrak{D} = +32 \pm 1$

$\mathfrak{E} = -8 \pm 1$

Bei der Berechnung von $T'/T$ war der $\log \sin \varphi$ von Land zur Reduktion auf die Temperatur der Bordbeobachtungen um 0.0009 zu vermehren (siehe die Temperaturuntersuchungen von L. C. in Potsdam).

Wie oben ermittelt, ist das $T$ von Land zu klein, während $i$ normal anzusehen ist; demnach ist auch $H$ und $Z$ zu klein, also die $(H' : H)$ und $(Z' : Z)$ sämtlich zu groß. Von den Koeffizienten werden dadurch nur die Größen $\lambda$ und $\mu$ wesentlich berührt; aus den beobachteten, gestörten Werten wurden folgende ungestörte Werte abgeleitet und angenommen:

$$\lambda = 1.017 \frac{H_{\text{gestört}}}{H_{\text{wahr}}} = 1.017 \frac{284}{287.5} = 1.004$$

$$\mu = 1.011 \frac{Z_{\text{gestört}}}{Z_{\text{wahr}}} = 1.011 \frac{221.9}{225} = 0.998$$

Die mittleren Fehler der Horizontal-Koeffizienten sind klein; die Größe des Ablenkungswinkels $\varphi$ war günstig für die Messungen. Indes kommt die Schwierigkeit derselben in den Einzelwerten der Inklinationen zum Ausdruck; auch wegen der Gestörtheit der Insel wird man die Schlußresultate der Koeffizienten immerhin noch mit einiger Vorsicht aufnehmen müssen.

## § 47. Die beiden Äquatorstationen auf hoher See.

Um einen etwaigen Einfluß vom Überschreiten des Äquators auf den Gang der Koeffizienten ermitteln zu können, wurden nördlich und südlich vom Äquator die unten näher bezeichneten

Stationen auf hoher See eingelegt. Am 24. September war die Inklination etwa + 16° (interpoliert nach Karte und eigener Beobachtung), am 7. Oktober — 8.9° nach Beobachtung vom selben Tag.

Da der Schlingertisch leider nicht mit einer Kompaßeinrichtung versehen war, wurde eine solche improvisiert. Zur Verfügung stand ein sogenannter „Normalkompaß" der Kaiserlichen Marine, der allerdings mehr ein Landinstrument ist und an Bord etwas unruhig arbeitet; möglicherweise war auch die Nivellierung der improvisierten Aufhängung nicht ganz genügend. Die Sonne wurde mit Diopter gepeilt, dazu die Zeit nach einer Uhr notiert, deren Stand bezüglich der wahren Ortszeit bekannt war. Aus der wahren Ortszeit folgt das wahre Azimut der Sonne, welches mit der Kompaßpeilung in bekannter Weise die Deklination ergibt.

Auf jedem Kurs wurden am 24. September etwa fünf, am 7. Oktober etwa zehn Peilungen rasch hintereinander vorgenommen.

Die Schwingungsbeobachtungen vom 7. Oktober wurden mit derselben Kompaßrose angestellt, indem sie zu Beginn der Beobachtungen auf jedem Kurs etwa 45° aus dem Meridian abgelenkt und dann sich selbst überlassen wurde.

### Die Beobachtungen und Deviationen.

(Normalkompaß.)

**24. September 1901.**

Breite 6° 33′ N

Länge 20° 7 W

| Kurs | D′ | | δ |
|---|---|---|---|
| N | N 1 W | 19.2° W. | + 1.6° |
| NO | N 45 O | 19.2 | + 1.6 |
| O | Wegen Mastes nicht zu peilen | | |
| SO | S 49 O | 22.4 | — 1.6 |
| S | S 1 O | 20.4 | + 0.4 |
| SW | S 43 W | 19.6 | + 1.2 |
| W | S 87 W | 19.6 | + 1.2 |
| NW | N 45 W | 20.7 | + 0.1 |

**7. Oktober 1901.**

Breite 6° 3′ S

Länge 17° 48′ W

| Kurs | D′ | δ | Schwingungen der Kompaßrose |
|---|---|---|---|
| N | 22.0° W. | + 0.8° | 7.13 sec |
| NNO | 22.0 | + 0.8 | |
| NO | 22.4 | + 0.4 | 7.24 |
| ONO | 23.5 | — 0.7 | |
| O | 24.6 | — 1.8 | 7.33 |
| OSO | Wegen Mastes nicht zu peilen | | |
| SO | 25.2 | — 2.4 | 7.14 |
| SSO | 24.4 | — 1.6 | |
| S | 23.1 | — 0.3 | 7.11 |
| SSW | 20.8 | + 2.0 | |
| SW | 19.8 | + 3.0 | 7.54 |
| WSW | 19.2 | + 3.6 | |
| W | 20.3 | + 2.5 | 7.36 |
| WNW | Wegen Mastes nicht zu peilen | | |
| NW | 22.4 | + 0.4 | 7.33 |
| NNW | 22.0 | + 0.8 | |

**Die Koeffizienten.**

| 24. September | 7. Oktober |
|---|---|
| $\mathfrak{B} = -12 \pm 3$ | $\mathfrak{B} = -38 \pm 2$ verworfen |
| $\mathfrak{C} = +11 \pm 3$ | $\mathfrak{C} = +5 \pm 2$ |
| $\mathfrak{D} = +19 \pm 3$ | $\mathfrak{D} = +24 \pm 2$ |
| $\mathfrak{E} = +7 \pm 3$ | $\mathfrak{E} = 0 \pm 2$ |

Die Berechnung kann natürlich keinen Aufschluß über die Konstante $\mathfrak{A}$ geben, da wir das wahre $D$ nicht kennen. Bei der Kleinheit der $\delta$ hätten wir aus den verschiedenen $D'$ die Koeffizienten $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$ unbedenklich aus der angenäherten Formel I′ bestimmen können, ohne $\mathfrak{A}$ zu kennen. Um jedoch nach der strengen Formel I rechnen zu können, wurde das wahre $D$ aus dem Mittelwert $\mathfrak{M}(D')$ und dem angenommenen $\mathfrak{A} = +0.3°$ nach der Formel $D = \mathfrak{M}(D') + \mathfrak{A}$ ermittelt und daraus $\delta = D$[1]$) - D'$ abgeleitet. Die strenge Ausgleichung ergab dabei die obigen Resultate.

Bis auf $\mathfrak{B}$ stimmen die Werte leidlich gut überein. Das $\mathfrak{B}$ vom 7. Oktober fällt vollständig heraus; ein Einfluß des Breitenwechsels ist nicht darin zu sehen. Wahrscheinlich ist bei der provisorischen Aufstellung vom 7. Oktober der Kompaßkessel und damit die Visierebene etwas geneigt gewesen. Es ist leicht einzusehen, daß ein solcher Neigungsfehler einen veränderlichen Fehler in $D'$ zur Folge hat, der eine periodische Funktion des einfachen Schiffskurses darstellt, somit nur die semikursalen Koeffizienten beeinflußt Da $\mathfrak{C}$ fast nicht und $\mathfrak{B}$ bedeutend gestört erscheint, müßte bei obiger Annahme der Winkel zwischen dem magnetischen Meridian und dem Höhenkreis der Sonne nahezu gleich dem Winkel zwischen der Kielrichtung und der Richtung, in welcher sich der Kessel nach unten neigte, gewesen sein. Wir verwerfen das $\mathfrak{B}$ vom 7. Oktober.

## § 48. Die beiden Wendepunktstationen auf hoher See.

Bis 24. Oktober 1901 war monatelang ein im wesentlichen südlicher Kurs gesteuert worden; von da an wurde der Kurs wiederum für lange Zeit ein östlicher auf Kapstadt und den Indischen Ozean zu. Um einen etwaigen Einfluß des langen Liegens auf demselben Kurs auf die magnetischen Eigenschaften des Schiffseisens erkennen zu können, wurden am 24. Oktober vor, und am 30.—31. Oktober nach der Wendung die folgenden ausführlichen Deviationsbestimmungen vorgenommen.

Die Sonnenpeilungen und Schwingungen der Kompaßrose erfolgten am 24. Oktober a. m. genau wie am 7. Oktober; nur wurden auf jedem Kurs etwa doppelt soviel Sonnenpeilungen (15—20) rasch hintereinander genommen. Am 30. Oktober p. m. wurde jedoch zu denselben Beobachtungen nicht mehr der nur etwas unsicher aufzustellende Normalkompaß benutzt, sondern das Deviationsmagnetometer, das ich unterdes mit einer Schattenstifteinrichtung versehen hatte. Es wurde das eine Mal der Schatten der Sonne, das andere Mal die Spitze der Nadel von D. M. auf das als Index dienende Häkchen je zehnmal eingestellt, und zu jeder Ein-

[1]) $D$ ist hier, wie in der Praxis üblich, nach $W$ positiv gerechnet.

stellung der gleichzeitige Stand des Regelkompasses notiert. Zu den Horizontalschwingungen wurde dieselbe kleine Nadel benützt.

Außer diesen Beobachtungen zur Bestimmung der Horizontalkoeffizienten wurden an beiden Stationen in gleicher Weise noch Beobachtungen der Vertikalintensität und Inklination angestellt. Benutzt wurde das Inklinatorium D. M., dessen freie Lagerung ein leichtes Spielen der Inklinationsnadel erlaubt; auf jedem Kurs wurde bei Kreis Nord und Kreis Süd die Schwingungsdauer beobachtet, indem, so gut es ging, dieselben Schwingungsweiten genommen, und etwa zwölfmal die Zeiten je von dem dritten Durchgang notiert wurden. Bei Kreis Ost und Kreis West wurden je mindestens 20 Paare aufeinanderfolgender Umkehrpunkte bestimmt; da die abgeleiteten Mittellagen (Inklinationen) eine Abhängigkeit von der Amplitude zeigen, wurden bei mehreren Kursen einige Mittellagen, z. T. am Anfang z. T. am Ende der Reihen, in der Weise ausgeschaltet, daß die obere und untere Grenze der Schwingungsweiten bei allen Kursen gleich groß wurde.

Um aus den Beobachtungen von $D'$, $i'$, $Z'$ an Bord die Deviationen $\delta$, $(H' : H)$ und $(Z' : Z)$ ableiten zu können, brauchen wir noch die wahren Werte $D$, $i$ und $Z$, die wir auf hoher See nicht beobachten können. $D$ ist aus den Beobachtungen der verfügbaren äquidistanten Kurse nach Formel 36 abgeleitet (zu beachten ist dabei die Fußnote von Seite 232), $i$ aus den benachbarten Stationen interpoliert. Da die $i'$ auf jedem Kurs nur in zwei Lagen beobachtet sind, wurde eine konstante Korrektion an allen $i'$ angebracht, welche die genannten beiden Lagen auf das Mittel der normalen acht Lagen reduziert. Am 24. Oktober war mit Nadel II, $A$ oben vorne, beobachtet worden; die Korrektion betrug nach den einschließenden Seestationen $-0.8°$; am 31. Oktober mit Nadel I, $A$ oben vorne; die Korrektion betrug nach unmittelbar anschließender Bestimmung $-0.55°$. Um schließlich die dem wahren $Z$ entsprechende Schwingungsdauer der Inklinationsnadel zu erhalten, erinnern wir uns, daß nach Formel 36 $\frac{1}{\sec^2} = \frac{1}{\mu}\mathfrak{M}\left(\frac{1}{\sec'^2}\right)$ zu setzen ist, wonach sich bei gegebenem $\mu$ die gesuchte ungestörte Schwingungsdauer ergibt; natürlich können wir mit diesen Schwingungsbeobachtungen dann nur $g$ und $h$ gewinnen.

Aus den gestörten und den wahren Werten ergeben sich die Deviationen in bekannter Weise; nur für die Inklinationen müssen wir noch nachweisen, wie sie zur Ermittlung der Vertikalkoeffizienten benützt sind. Die Gleichung $\frac{Z'}{Z} = \frac{\operatorname{tg} i' \, H'}{\operatorname{tg} i \, H}$ ist eine Identität. Der erste Faktor der rechten Seite ist für jeden Kurs bereits ermittelt; der zweite Faktor wird nach Formel II' aus den auf den beiden Stationen bestimmten $H$-Koeffizienten und aus dem angenommenen $\lambda = 1.01$ abgeleitet. (Siehe Tabelle S. 234.)

In den Resultaten ist ein Einfluß der Kurswendung mit Sicherheit nicht zu konstatieren. Die $Z$-Koeffizienten sind ziemlich unsicher, was wohl weniger der Veränderlichkeit des entsprechenden Schiffseisens, als vielmehr der Unsicherheit der Beobachtungsmethoden zuzuschreiben sein wird, welche die kleinen Koeffizienten nur noch unsicher liefern. Den Schwingungsdauern der Inklinationsnadel D. M. ist in Anbetracht ihrer Unsicherheit nur halbes Gewicht zuerkannt; im Vergleich mit den früheren Schwingungsbeobachtungen mit L. C. erscheinen jedoch die Reihen von D. M. sehr viel zuverlässiger.

## Die Beobachtungen.

**24. Oktober 1901**
Breite 25° 52′ S
Länge 10 5 W

| Kurs | Normalkompaß D′ | Normalkompaß Schwinggs-dauer H | D.-M. i′ Umkehr-Punkte | D.-M. Schwinggs-dauer Z |
|---|---|---|---|---|
| | | sec. | | sec. |
| N | 21.4° | *8.03* | — 32.78° | 7.80 |
| NNO | 21.0 | | | |
| NO | 19.9 | *8.05* | 33.30 | 7.72 |
| ONO | nicht zu peilen | | | |
| O | 22.3 | *8.28* | 33.84 | 7.78 |
| OSO | nicht zu peilen | | | |
| SO | 24.2 | *7.98* | 32.46 | 7.78 |
| SSO | 25.0 | | | |
| S | 23.2 | *7.98* | 31.66 | 7.87 |
| SSW | 20.5 | | | |
| SW | 20.3 | *8.00* | 32.31 | 7.83 |
| WSW | 21.2 | | | |
| W | 22.2 | *8.34* | 33.74 | 7.85 |
| WNW | nicht zu peilen | | | |
| NW | 22.1 | *8.23* | 33.47 | 7.84 |
| NNW | 22.7 | | | |

Statt der Landwerte sind benützt:

$\mathfrak{M}$ (D′) = 22.0°
$\mathfrak{A}$ = + 0.3
**D = 22.3**

$i$ = — **33.2°** interpoliert aus benachbarten Stationen
$\mu$ = **1.002** angenommen

**30. und 31. Oktober 1901**
Breite 29° 56′ S
Länge 15 10 W

| Kurs | Deviations-Magnetometer Strenger Kurs | D′ | Schwinggs-dauer H | i′ Umkehr-Punkte | Schwinggs-dauer Z |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | sec. | | sec. |
| N | N 2 O | 24.0° | *4.88* | — 39.58° | 6.53 |
| NNO | N 23 O | 23.1 | | | |
| NO | N 45 O | 22.5 | *4.93* | 40.13 | 6.52 |
| ONO | N 70 O | 23.4 | | | |
| O | N 88 O | 23.5 | *5.03* | 41.17 | 6.62 |
| OSO | nicht zu peilen | | | | |
| SO | S 47 O | 26.8 | *4.82* | 39.83 | 6.62 |
| SSO | S 25 O | 25.5 | | | |
| S | S 3 O | 22.9 | *4.86* | 38.94 | 6.62 |
| SSW | S 23 W | 23.0 | | | |
| SW | S 43 W | 21.4 | *5.03* | 39.73 | 6.62 |
| WSW | S 68 W | 22.8 | | | |
| W | S 89 W | 23.2 | *5.10* | 40.86 | 6.60 |
| WNW | N 66 W | 24.3 | | | |
| NW | N 42 W | 25.2 | *4.91* | 40,00 | 6.54 |
| NNW | N 20 W | 24.4 | | | |

Statt der Landwerte sind benützt:

$\mathfrak{M}$ (D′) = 23.7°
$\mathfrak{A}$ = + 0.3
**D = 24.0**

$i$ = — **40.25°** interpoliert aus benachbarten Stationen
$\mu$ = **1.002** angenommen

## Die Deviationen.

**24. Oktober**

| Kurs | $\delta$ | $\frac{H'}{\lambda H}$ | $\frac{Z'}{Z}$ a. Inkl. | $\frac{Z'}{Z}$ a. Schwing. |
|---|---|---|---|---|
| N | + 0.9° | *1.041* | 1.013 | 1.004 |
| NNO | + 1.3 | | | |
| NO | + 2.4 | *1.015* | 1.009 | 1.025 |
| ONO | — | | | |
| O | 0 | *0.959* | 1.006 | 1.009 |
| OSO | — | nicht benützt | | |

**30. und 31. Oktober**

| Kurs | $\delta$ | $\frac{H'}{\lambda H}$ | $\frac{Z'}{Z}$ a. Inkl. | $\frac{Z'}{Z}$ a. Schwing. |
|---|---|---|---|---|
| N | 0° | *1.026* | 1.009 | 1.019 |
| NNO | + 0.9 | | | |
| NO | + 1.5 | *1.005* | 0.993 | 1.022 |
| ONO | + 0.6 | | | |
| O | + 0.5 | *0.966* | 0.998 | 0.991 |
| OSO | — | nicht benützt | | |

| Kurs | $\delta$ | $\frac{H'}{\lambda H}$ | $\frac{Z'}{Z}$ a. Inkl. | a. Schwing. |
|---|---|---|---|---|
| SO | — 1.9° | *1.032* | 0.987 | 1.009 |
| SSO | — 2.7 | | | |
| S | — 0.9 | *1.032* | 0.989 | 0.986 |
| SSW | + 1.8 | | | |
| SW | + 2.0 | *1.027* | 0.981 | 0.997 |
| WSW | + 1.1 | | | |
| W | + 0.1 | *0.950* | 1.001 | 0.991 |
| WNW | —— | | | |
| NW | + 0.2 | *0.971* | 1.015 | 0.994 |
| NNW | — 0.4 | | | |
| | | nicht benützt | | |

| Kurs | $\delta$ | $\frac{H'}{\lambda H}$ | $\frac{Z'}{Z}$ a. Inkl. | a. Schwing. |
|---|---|---|---|---|
| SO | — 2.8° | *1.052* | 0.989 | 0.991 |
| SSO | — 1.5 | | | |
| S | + 1.1 | *1.035* | 0.998 | 0.991 |
| SSW | + 1.0 | | | |
| SW | + 2.6 | *0.966* | 1.008 | 0.991 |
| WSW | + 1.2 | | | |
| W | + 0.8 | *0.940* | 1.015 | 0.997 |
| WNW | — 0.3 | | | |
| NW | — 1.2 | *1.037* | 1.003 | 1.015 |
| NNW | — 0.4 | | | |
| | | nicht benützt | | |

## Die Koeffizienten.

**24. Oktober**

$\mathfrak{B} = -\ 7 \pm 5$

$\mathfrak{C} = +13 \pm 4$

$\mathfrak{D} = +29 \pm 4$

$\mathfrak{E} = -\ 2 \pm 4$

nach Formel I

$\mu = 1.000 \pm 2$ aus Inkl.

| | aus Inkl. | aus Schwingg. | angenommen |
|---|---|---|---|
| g | $-10 \pm 2$ | $-5 \pm 2$ | $-8$ |
| h | $+1 \pm 2$ doppeltes Gewicht | $+8 \pm 2$ einfaches Gewicht | $+3$ |

nach Formel III

**30. und 31. Oktober**

$\mathfrak{B} = -\ 9 \pm 4$

$\mathfrak{C} = 0 \pm 4$

$\mathfrak{D} = +29 \pm 4$

$\mathfrak{E} = 0 \pm 4$

nach Formel I

$\mu = 1.002 \pm 2$ aus Inkl.

| | aus Inkl. | aus Schwingg. | angenommen |
|---|---|---|---|
| g | $-2 \pm 2$ | $-14 \pm 3$ | $-6$ |
| h | $-8 \pm 2$ doppeltes Gewicht | $0 \pm 3$ einfaches Gewicht | $-5$ |

nach Formel III

## § 49. Kapstadt.

Am 23. November 1901 drehte der „Gauss“ von 5 Uhr morgens bis Mittag dicht unter Land quer ab vom Signal Hill bei ruhiger See und schönem Wetter zu ausführlichen Deviationsbestimmungen. Um die Eigenschaften von D. M. kennen zu lernen und alle seine Möglichkeiten auszunützen, wurden die Beobachtungen ausschließlich mit D. M. in einer vom Bisherigen z. T. abweichenden Weise angestellt.

Die Deklination wurde durch Sonnenpeilung mittels der improvisierten Schattenstifteinrichtung bei bekannter Uhrzeit ermittelt; je zehn Einstellungen von Schattenstift und Nadel. An den Nadelwerten ist die Indexkorrektion — 0°.1 angebracht, welche die Ungleichheit von geometrischer und magnetischer Achse eliminiert. Dieselbe Nadel wurde zu den *H*-Schwingungen benützt.

Die Inklination wurde überall in zwei Lagen je aus zwanzig Paaren von Umkehrpunkten bestimmt. Kombiniert wurde je ein Umkehrpunkt der einen Seite mit den beiden einschließenden Umkehrpunkten der andern Seite. Trotzdem zeigt sich ein Gang in den Inklinationswerten, über den ausführlich in dem Abschnitt „Inklination“ berichtet wird. Da es sich für unsere Zwecke nicht um absolute Werte, sondern nur um Differenzen zwischen den einzelnen

Kursen, und zwischen Land und Bord handelt, wurden die einzelnen Reihen, die sich nicht alle streng innerhalb derselben Schwingungsweiten abspielten, in folgender Weise miteinander vergleichbar gemacht. In der unten stehenden Tabelle sind überall zu den Inklinationsmitteln die zugehörigen mittleren Amplituden angegeben. Es wurde nun für jede Reihe empirisch festgestellt, um wieviel sich der Inklinationswert bei der Abnahme der Amplitude um 1° ändert, und mit Hilfe dieses Gradienten wurde der beobachtete Mittelwert $i$ von der ihm zugehörigen mittleren Amplitude auf die „Normalamplitude" 45° reduziert. Die Tabellen lassen erkennen, daß es sich dabei nur um ganz geringe Beträge handelt.

Kapstadt, 23. November 1901.

**Die Beobachtungen**

**An Bord** mit dem Deviations-Magnetometer.

| Kurs | Strenger Kurs | D' | Schwing. H | Inklination | | | Total-Intensität | | | Vertikal-Intensität | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $i'$ unkorr. | mittl. Amplit. | $i'$ korrig. | $\varphi'$ unkorr. | mittl. Amplit. | $\varphi'$ korrig. | $\varphi'$ unkorr. | mittl. Amplit. | $\varphi'$ korrig. |
| | | | sec. | | | | | | | | | |
| N | N 1 W | 28.2° | *5.31* | —58.10° | 48° | —58.0° | 21.44° | 45° | 21.44° | 25.50° | 45° | 25.5° |
| NNO | N 23 O | 27.5 | | | | | | | | | | |
| NO | N 45 O | 26.5 | *5.31* | 58.80 | 43 | 58.75 | 22.09 | 50 | 22.0 | 26.53 | 50 | 26.25 |
| ONO | N 66 O | 28.1 | | | | | | | | | | |
| O | O | 28.9 | *5.47* | 59.35 | 49 | 59.4 | 22.0 | 45 | 22.0 | 25.86 | 43 | 25.80 |
| OSO | S 71 O | 29.8 | | | | | | | | | | |
| SO | S 44 O | 30.0 | *5.40* | 58.63 | 47 | 58.65 | 21.60 | 48 | 21.55 | 26.45 | 47 | 26.3 |
| SSO | S 23 O | 30.3 | | | | | | | | | | |
| S | S | 28.9 | *5.31* | 57.89 | 41 | 57.85 | 21.25 | 45 | 21.25 | 26.37 | 48 | 26.35 |
| SSW | S 22 W | 27.5 | | | | | | | | | | |
| SW | S 44 W | 27.7 | *5.85* | 58.58 | 48 | 58.65 | 21.50 | 49 | 21.5 | 26.39 | 52 | 26.0 |
| WSW | S 65 W | 28.2 | | | | | | | | | | |
| W | S 88 W | 28.5 | *5.47* | 59.38 | 43 | 59.2 | 21.45 | 39 | 21.4 | 26.31 | 42 | 26.4 |
| WNW | nicht zu peilen | | | | | | | | | | | |
| NW | N 46 W | 29.9 | *5.38* | 58.64 | 49 | 58.6 | 21.80 | 38 | 21.85 | 25.60 | 32 | 26.4 |
| NNW | N 24 W | 29.2 | | | | | | | | | | |
| **An Land** | | | *5.33* | 58.74 | 50 | 58.87 | 21.81 | 56 | 21.75 | 27.06 | 59 | 26.45 |
| | **D = 28.9°** | | *5.40* | 58.85 | 43 | 58.78 | 21.90 | 52 | 21.90 | 27.29 | 68 | 26.3 |
| | nach Beattie | | *5.34* | 58.77 | 48 | 58.74 | 21.81 | 49 | 21.80 | 27.12 | 64 | 26.45 |
| | | | *5.34* | | | | | | | | | |
| | | Mittel | *5.35* | | | **58.80** | | | **21.82** | | | **26.40** |

## Die Deviationen.

| | $\delta$ | $\frac{H'}{H}$ aus Schwing. | $\frac{H'}{H}$ aus $T$ u. $i$ | $\frac{H'}{H}$ aus $Z$ u. $i$ | $\frac{Z'}{Z}$ aus $Z$ | $\frac{Z'}{Z}$ aus $T$ u. $i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N | + 0.7° | *1.016* | 1.033 | 1.074 | 1.041 | 1.001 |
| NNO | + 1.4 | | | | | |
| NO | + 2.4 | *1.016* | 0.991 | 1.009 | 1.006 | 0.989 |
| ONO | + 0.8 | | | | | |
| O | 0 | *0.957* | 0.979 | 1.003 | 1.027 | 1.002 |
| OSO | — 0.9 | | | | | |
| SO | — 1.1 | *0.982* | 1.015 | 1.010 | 1.003 | 1.010 |
| SSO | — 1.4 | | | | | |
| S | 0 | *1.016* | 1.046 | 1.040 | 1.002 | 1.008 |
| SSW | + 1.4 | | | | | |
| SW | + 1.2 | *1.001* | 1.018 | 1.024 | 1.018 | 1.012 |
| WSW | + 0.7 | | | | | |
| W | + 0.4 | *0.957* | 1.013 | 0.984 | 1.000 | 1.029 |
| WNW | nicht zu peilen | | | | | |
| NW | — 1.0 | *0.990* | 1.001 | 1.008 | 1.000 | 0.993 |
| NNW | — 0.3 | nicht benützt | gemittelt | | gemittelt | |

## Die Koeffizienten.

| | | |
|---|---|---|
| $\mathfrak{A} = +\ 4 \pm 2$ | $\lambda$ zu unsicher | $\mu$ zu unsicher |
| $\mathfrak{B} = \ \ 0 \pm 2$ | $\mathfrak{B} = -\ 3 \pm 6$ | $g = +1 \pm 9$ |
| $\mathfrak{C} = +\ 6 \pm 2$ | $\mathfrak{C} = +\ 4 \pm 6$ | $h = -2 \pm 9$ |
| $\mathfrak{D} = +24 \pm 2$ | $\mathfrak{D} = +26 \pm 6$ | |
| $\mathfrak{E} = +\ 3 \pm 2$ | $\mathfrak{E} = -\ 1 \pm 6$ | |
| nach Formel I aus $\delta$ | nach Formel 34 aus $\frac{H'}{H}$ | nach Formel III mit $i = -58.9°$ |

Die Totalintensität und Vertikalintensität wurde mit demselben Inklinatorium und derselben Nadel beobachtet: an der Rückwand des Gehäuses kann nämlich eine Schiene mit zwei gleichgerichteten, je an einem Ende der Schiene befestigten Magneten so angesetzt werden, daß die Magnete horizontal und symmetrisch zum Mittelpunkt der Kreisteilung liegen. Der Ablenkungswinkel der Inklinationsnadel gibt bei Kreis Ost und Kreis West ein relatives Maß der Totalintensität, bei Kreis Nord und Kreis Süd ein solches der Vertikalintensität; durch Umsetzen der Schiene erhält man den doppelten Ablenkungswinkel. $T$ und $Z$ sind also auf jedem Kurs je durch vier Einstellungen der Inklinationsnadel bestimmt, und jede Einstellung

ist wiederum aus zwanzig Paaren von Umkehrpunkten abgeleitet; die Ungleichheit der Amplituden ist wieder, wie bei der Inklination, eliminiert.

Es ist leicht einzusehen, daß die $T$ und $Z$ mit ihren zugehörigen Ablenkungswinkeln in folgender Beziehung stehen:

$$T = C\frac{\sin i}{\operatorname{tg}\varphi_T} \qquad Z = \frac{C'}{\operatorname{tg}\varphi_Z};$$

die Deviationen folgen also aus den an Bord und an Land beobachteten Werten je in doppelter Weise nach den Formeln:

$$\frac{H'}{H} = \frac{\sin 2i'}{\sin 2i}\frac{\operatorname{tg}\varphi_T}{\operatorname{tg}\varphi_T'} = \frac{\operatorname{ctg} i'}{\operatorname{ctg} i}\frac{\operatorname{tg}\varphi_Z}{\operatorname{tg}\varphi_Z'} \qquad \frac{Z'}{Z} = \frac{\sin^2 i'}{\sin^2 i}\frac{\operatorname{tg}\varphi_T}{\operatorname{tg}\varphi_T'} = \frac{\operatorname{tg}\varphi_Z}{\operatorname{tg}\varphi_Z'}.$$

Die Beobachtungen an Land wurden genau in derselben Weise wie an Bord angestellt; der Ort ist im zweiten Kapitel § 26 angegeben. Nur für die Deklination wurde der am selben Ort von Herrn Professor Beattie mehrmals bestimmte Wert 28.9° benutzt, da sich mir keine Gelegenheit zu einer Messung mit D. M.-Schattenstift bot.

Die Berechnung ergibt gute $H$-Koeffizienten aus $\delta$, schlechte aus den $T$-, $Z$- und $i$-Beobachtungen; doch stimmen beide innerhalb der Beobachtungsfehler überein.

Die beiden Mittelwertkoeffizienten $\lambda$ und $\mu$ sind durch die Landbeobachtungen, von denen sie wesentlich abhängen, nicht genügend sichergestellt. Die Schwingungen der Inklinationsnadel spielen sich an Land unter viel größerer Dämpfung ab als an Bord, was schon darin zum Ausdruck kommt, daß man an Land mit viel größeren Amplituden zu arbeiten bestrebt ist. Dadurch wird aber, zumal bei der Kleinheit der Ablenkungswinkel, die Vergleichbarkeit der Bord- und Landbeobachtungen sehr erschwert und scheint auch durch das obige Verfahren nicht genügend gesichert. Wir sehen daher von einer Ableitung der Werte $\lambda$ und $\mu$ ab; die Drehungskoeffizienten werden von dieser Schwierigkeit nicht berührt.

Die $Z$-Deviationen sind schlecht, trotzdem sie auf einem sehr großen Beobachtungsmaterial beruhen; einmal sind die Ablenkungswinkel zu klein, so daß ein Fehler von 0.1° schon einen Fehler der Deviation von etwa 5 Einheiten der 3. Dezimale verursacht, sodann sind die Korrektionen auf die Normalamplitude auch für Bord etwas bedenklich, endlich sind die zugehörigen Beobachtungen am Schluß der sieben Stunden lang, von mir allein durchgeführten Untersuchungen erhalten worden. Da jedoch die aus den $T$- und $Z$-Messungen abgeleiteten $H$-Koeffizienten mit den nach einer ganz verschiedenen Methode bestimmten Werten übereinstimmen, liegen ebenso die aus denselben Messungen abgeleiteten $Z$-Koeffizienten jedenfalls nahe bei der Wahrheit; der mittlere Fehler kennzeichnet ihre Unsicherheit zur Genüge.

## § 50. **Kerguelen** (Royal Sound).

Bald nach unserer Ankunft in der Observatory Bay im Hintergrund des Royal Sound wurde der 4. Januar 1902 den Deviationsbestimmungen des „Gauss“ gewidmet. Um von den zahllosen Inseln in der Nähe der deutschen Station etwas frei zu kommen, fuhren wir nach dem etwa vier Seemeilen abliegenden, freieren Wasserbecken zwischen Heugh Eiland, Gibson I.,

Blakeney I., Penn I. und der unbekannten, westwärts liegenden Insel[1]). Daselbst wurde das ganze Kapstädter Beobachtungsprogramm in genau derselben Weise durchgeführt.

Eine Woche später unternahm ich in Begleitung von dem zweiten Offizier Ott eine Bootsexpedition, auf welcher dieselben Messungen auf elf verschiedenen Stationen von Heugh I., Gibson I. und Blakeney I. wiederholt wurden; das Scheitern unseres Bootes während eines über Nacht aufkommenden schweren Sturmes verhinderte die Fortsetzung der Vermessung auch auf den beiden übrigen Inseln.

Am Tage der Abfahrt von Kerguelen, am 31. Januar 1902, drehte der „Gauss" noch einmal etwa am selben Platz für kurze Zeit, wobei auf acht Kursen je Deklination und Inklination gemessen wurde.

Leider hat die Berechnung ergeben, daß die aufgewandte Mühe, wenigstens für die Zwecke der Deviationsbestimmung, fast vollkommen vergeblich war: die lokalen Störungen, die wir durch Vermessung der einschließenden Inseln zu überwinden gehofft hatten, erwiesen sich als zu stark. So beträgt der Unterschied in Inklination auf den einzelnen Landstationen mehr als 3°, und ein Fehler von 1° verursacht einen Fehler der Deviationen $(H' : H)$ bzw. $(Z' : Z)$ von 5—6 %, während wir doch mindestens eine zehnmal geringere Unsicherheit anstreben; die Ablenkungswinkel der $T$- und $Z$-Bestimmung, die allerdings auch ungünstig klein waren und nur 15—16° betrugen, zeigten an Land Unterschiede bis zu 1°, und ein Fehler von 0,15° verursacht schon einen Fehler der Deviationen von 1 %.

Nun könnte man ja daran denken, auf die Landbeobachtungen und damit auf die Mittelwertskoeffizienten $\mathfrak{A}$, $\lambda$ und $\mu$ zu verzichten und nur die Drehungskoeffizienten aus den Differenzen der Bordbeobachtungen abzuleiten. Aber auch das wird durch die lokalen Störungen des Lands vereitelt, da wir leider am 4. Januar wegen des Wetters gezwungen waren, die Beobachtungen z. T. dicht unter der Küste von Blakeney vorzunehmen, während andere weiter westlich und weiter nördlich bei Heugh I. gewonnen worden waren. Höchst lehrreich sind in dieser Beziehung die Ergebnisse der beiden verschiedenen Deklinationsbestimmungen vom 4. und 31. Januar 1902 (siehe folgende Seite).

Am 31. Januar ist ausdrücklich angegeben, daß wir ganz frei von den Inseln drehten; die Beobachtungen durften die Weiterfahrt nicht stören, und es stand nur geringe Zeit zur Verfügung. So kam es, daß die Beobachtungen auf jedem Kurs nur kurz dauerten, und die ganze Drehung auf einem kleinen Raum sich abspielte. Diese wenigen flüchtigen Beobachtungen sind aber viel besser und in sich ungestörter, als die ausführlichen Messungen vom 4., die auf großem Raum und z. T. dicht unter Blakeney angestellt worden waren.

Wir geben die $D'$-Werte vom 31. Januar wieder und leiten daraus die Drehungskoeffizienten ab, wozu wir nur $\delta - \mathfrak{A} = \mathfrak{M}(D') - D'$ brauchen. Zum Vergleich fügen wir die $\delta$ vom 4. Januar bei, und da ist es interessant zu sehen, wie die beiden am stärksten herausfallenden Werte bei Kurs NO und NW gerade diejenigen sind, welche dicht an Blakeney gewonnen wurden. Die Zahlen zeigen, daß die Deklination an der Südspitze der Insel zu groß, an der Nordspitze zu klein ist, und beweisen, daß die Inselkuppe, wie gewöhnlich auf

[1]) Vergleiche die Karte I von Band II.

der Südhalbkugel, das Südende der Magnetnadel anzieht. Die Resultate der Landbeobachtungen werden in dem Kapitel „Inselbeobachtungen“ mitgeteilt.

**Die Beobachtungen.**

| Kurs | $D'$ | $\delta - \mathfrak{A}$ 31. I. | $\delta - \mathfrak{A}$ 4. I. | |
|---|---|---|---|---|
| N | 36.1° | — 0.3° | — *0.9°* | |
| NO | 33.2 | + 2.6 | + *4.3* | dicht bei *Blakeney Nordecke* |
| O | 33.5 | + 2.3 | + *2.5* | |
| SO | 36.0 | — 0.2 | — *0.7* | |
| S | 36.1 | — 0.3 | — *1.1* | |
| SW | 35.7 | + 0.1 | + *0.9* | |
| W | 36.8 | — 1.0 | — *1.0* | |
| NW | 38.1 | — 3.1 | — *4.3* | dicht bei Blakeney Südecke |
| $\mathfrak{M}$ ($D'$) | 35.8 | | | |

**Die Koeffizienten.**

$\mathfrak{B} = +31 \pm 2$

$\mathfrak{C} = -1 \pm 2$

$\mathfrak{D} = +26 \pm 2$

$\mathfrak{E} = -8 \pm 2$

nach Formel I′ aus den $\delta$ vom 31. I.

Von einer Verwendung der Inklinationsbeobachtungen vom 31. Januar sehen wir ab, da wir den wichtigsten $Z$-Koeffizienten, den Mittelwertskoeffizienten $\mu$, bei der geschilderten Sachlage doch nicht ableiten können, und da für die Ermittlung der kleinen Koeffizienten $g$ und $h$ die Größe der Inklination sehr ungünstig ist.

## § 51. Im Packeis.

Nach unserer Befreiung aus der eisigen Umklammerung unserer Winterstation trieb der „Gauss“ meist als ein willenloser Spielball der elementaren Mächte des Packeises, der Strömung und der Stürme, festgepackt und ohne eigene Bewegungsfreiheit westwärts, Februar bis April 1903. Dabei wurde das Schiff im Lauf der Zeit auf verschiedene Kurse gelegt, so daß ich mehrfach Gelegenheit hatte, die gestörten magnetischen Elemente an Bord und ihre ungestörten Werte auf einer genügend abliegenden Eisscholle möglichst in unmittelbarem Anschluß zu bestimmen.

Manchmal schwankten die Schollen und drehten sich, wie ein Fahrzeug; natürlich konnten diese Schwierigkeiten genau wie an Bord überwunden werden, das Schwanken durch die Anzahl der Beobachtungen, das Drehen durch gleichzeitige Beobachtungen des Schollenkurses mit Hilfe des auf der Scholle beliebig aufgestellten Normalkompasses. Die Messungen selbst wurden sämtlich mit dem Deviationsmagnetometer angestellt.

Deklinationsmessungen konnten bei dem bedekten Himmel des Packeisgürtels nur selten gewonnen werden.

Die $H$-Messungen bestehen aus Ablenkungen, die stets mit zwei Magneten, I und II, je in zwei Entfernungen vorgenommen wurden. Die Ungleichheit der Temperatur wird durch den Temperaturkoeffizienten von $\log \sin \varphi$ eliminiert, der nach den ausführlichen Potsdamer Bestimmungen bei Magnet I 18, bei Magnet II 14 Einheiten der fünften Dezimale auf $1^0$ Temperaturdifferenz beträgt.

Die Inklinationen sind durch vollständige Messungen mit Nadel II von D. M. (acht Lagen, Ruhelage) bestimmt. Nur am 15. Februar drehte das Schiff während der Messung sehr stark, so daß die beiden Teile der Messung vor und nach dem Ummagnetisieren getrennt je mit ihrem mittleren Kurs angegeben sind; jedem Wert wurde der entsprechende Teilwert der in gleicher Weise getrennten Schollenbeobachtung zugewiesen.

**Die Beobachtungen.**

| | Deklination. (D. M. Schattenstift) | | | Horizontalintensität. (D. M. Ablenkungen) | | | | | | | Inklination. (D. M. Ruhelage) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Datum 1903 | Bord Kurs | Bord D' | Scholle D | Bord Kurs | Bord Magnet | Bord φ' | Bord t' | Scholle φ | Scholle t | mittleres $\frac{H'}{H}$ korrigiert wegen t'-t | Bord Kurs | Bord i' | Scholle i |
| Febr. 11 | | | | N 11 O | I. | 39° 50' | + 1.8 | 45° 36' | — 0.2 | | | | |
| | | | | | | 20 15 | + 1.4 | 29 31 | — 0.6 | 1.112 | | | |
| | | | | | II. | 39 15 | + 0.9 | 44 45 | 0 | | | | |
| | | | | | | 25 55 | + 0.9 | 28 29 | — 0.1 | | | | |
| Febr. 13 | | | | N 35 W | I. | 40° 55' | — 3.8 | 44° 45' | — 4.1 | | N 37 W | —76.15 | —77.05 |
| | | | | | | 26 53 | — 4.2 | 29 11 | — 4.2 | 1.075 | | | |
| | | | | | II. | 40 23 | — 4.3 | 44 3 | — 4.2 | | | | |
| | | | | | | 26 37 | — 4.3 | 28 46 | — 4.1 | | | | |
| Febr. 14 | S 88 W | 65.35° | 61.25° | N 66 W | I. | 43° 29' | — 0.7 | 44° 40' | — 5.0 | | S 83 W | 77.25 | 76.95 |
| | | | | | | 28 21 | — 0.6 | 29 8 | — 5.9 | 1.021 | | | |
| | | | | | II. | 42 50 | + 0.9 | 44 4 | — 7.6 | | | | |
| | | | | | | 27 55 | — 0.1 | 28 43 | — 6.8 | | | | |
| | | | | S 86 W | I. | 45° 49' | + 4.7 | 44° 40' | — 5.0 | | N 68 W | 76.75 | 76.95 |
| | | | | | | 29 45 | + 2.4 | 29 8 | — 5.9 | 0.977 | | | |
| | | | | | II. | 45 11 | + 3.0 | 44 4 | — 7.6 | | | | |
| | | | | | | 29 20 | + 2.7 | 28 43 | — 6.8 | | | | |
| Febr. 15 | | | | S 3 W | I. | 47° 4' | + 4.3 | 44° 23' | — 2.7 | | S 22 O | 77.6 | 77.0 |
| | | | | | | 30 28 | + 4.4 | 28 58 | — 3.2 | 0.952 | | | |
| | | | | | II. | 46 21 | + 4.1 | 43 41 | — 3.8 | | S 1 O | 77.3 | 76.75 |
| | | | | | | 29 57 | + 4.4 | 28 30 | — 3.7 | | | | |
| Febr. 16 | N 37 O | 56.75 | 60.8 | N 38 O | I. | 40° 35' | — 0.4 | 44° 6' | — 0.3 | | N 40 O | 75.95 | 76.80 |
| | | | | | | 26 41 | — 0.7 | 28 48 | — 0.5 | 1.070 | | | |
| | | | | | II. | 39 53 | — 1.5 | 43 18 | — 0.1 | | | | |
| | | | | | | 26 18 | — 1.4 | 28 16 | — 0.5 | | | | |
| Febr. 26 | N 38 O | 55.80 | 59.9 | N 39 O | I. | 39° 5' | + 2.2 | 42° 16 | — 1.5 | | N 41 O | 75.35 | 76.20 |
| | | | | | | 25 49 | + 1.7 | 27 49 | — 1.8 | 1.067 | | | |
| | | | | | II. | 38 37 | + 1.6 | 41 40 | — 1.9 | | | | |
| | | | | | | 25 22 | + 1.6 | 27 18 | — 1.9 | | | | |
| Febr. 27 | S 57 O | 57.15 | 59.8 | | | | | | | | S 42 O | 76.8 | 76.15 |
| März 8 | N 87 O | 53.80 | 58.85 | N 85 O | I. | 43° 8' | — 5.2 | 42° 40' | — 4.0 | | N 86 O | 76.35 | 76.15 |
| | | | | | | 28 17 | — 5.8 | 27 55 | — 4.2 | 0.989 | | | |
| | | | | | II. | 42 41 | — 5.5 | 41 51 | — 4.5 | | | | |
| | | | | | | 27 41 | — 5.8 | 27 24 | — 4.3 | | | | |

## Die Deviationen.

| $\delta$ | | | $\frac{H'}{H}$ | | $\frac{Z'}{Z}$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kurs | $\delta$ | $\mathfrak{A}$ | Kurs | Mittelwert | Kurs | $\log \frac{H'}{H}$ | $\log \frac{\operatorname{tg} i'}{\operatorname{tg} i}$ | $\frac{Z'}{Z}$ |
| N 37 O | + 4.05° | + 4.2 | N 11 O | 1.112 | N 40 O | 0.0290 | 9.9724 | 1.003 |
| N 38 O | + 4.1 | + 4.2 | N 38 O | 1.070 | N 86 O | 9.9941 | 0.0066 | 1.002 |
| N 87 O | + 5.05 | + 0.3 | N 39 O | 1.067 | S 42 O | 9.9774 | 0.0217 | 0.998 |
| S 57 O | + 2.65 | + 4.3 | N 85 O | 0.989 | S 22 O | 9.9778 | 0.0213 | 0.998 |
| S 88 W | — 4.1 | + 8.7 | S 3 W | 0.952 | S 1 O | 9.9785 | 0.0190 | 0.994 |
| | | | S 86 W | 0.977 | S 83 W | 9.9898 | 0.0105 | 1.001 |
| | | | N 66 W | 1.021 | N 68 W | 0.0086 | 9.9932 | 1.004 |
| | | | N 35 W | 1.075 | N 87 W | 0.0323 | 9.9697 | 1.005 |

## Die Koeffizienten.

$\mathfrak{A} = +4.4 \pm 1$

$\lambda = 1.005 \pm 2$

$\mathfrak{B} = +78 \pm 4$

$\mathfrak{C} = +1 \pm 4$

$\mathfrak{D} = +25 \pm 4$

$\mathfrak{E} = 0 \pm 4$

nach Formel 34 aus $\frac{H'}{H}$

$\mu = 1.001 \pm 4$

$g = -20 \pm 3$

$h = +1 \pm 3$

nach Formel III'

Da die $H$-Koeffizienten durch die $H$-Messungen sichergestellt sind, verwenden wir die $\delta$ nur zur Ableitung der Konstanten $\mathfrak{A}$ unter Benützung jener $H$-Koeffizienten nach der Formel I':

$$\mathfrak{A} = \delta - 0.077 \sin \zeta' - 0.025 \sin 2\zeta'.$$

Die $H$-Deviationen sind die Mittel der durch die einzelnen Winkelpaare gelieferten Einzelwerte, wo mitunter die von den großen Ablenkungswinkeln herrührenden Werte bevorzugt sind.

Die $Z$-Deviationen sind aus der Formel $\frac{\operatorname{tg} i'}{\operatorname{tg} i} \frac{H'}{H}$ abgeleitet, deren erster Bestandteil durch die Inklinationsbeobachtungen geliefert wird, und deren zweiter Bestandteil nach Formel II' mittels der ausgeglichenen $H$-Koeffizienten für die Kurse der Inklinationsbeobachtungen bestimmt ist. Für das in Gleichung III' auftretende $i$ ist der Mittelwert aller angeführten Schollenbeobachtungen genommen.

Bei der Größe der dortigen Inklinationen ist es nicht anders möglich, als daß die $Z$-Deviationen mit erheblicher Unsicherheit behaftet sind. Nehmen wir an, daß nur eines der beiden $i$, die zur Bestimmung eines Verhältnisses $(Z' : Z)$ gehören, um 0.1° fehlerhaft sei, so folgt daraus schon ein relativer Fehler der Deviation von 8 Promille. Der abnorme und wohl fehlerhafte Betrag von $g$ erklärt sich einmal aus diesem Umstand, außerdem dadurch, daß sein

Faktor $\cos\zeta' \operatorname{cotg} i$ bei den meisten Bestimmungsgleichungen eine sehr kleine Größe ist, da die Kurse mehr bei der Ost-West-, als bei der Nord-Süd-Linie liegen.

## § 52. **Durban** (Natal).

Am 31. Mai 1903 wurde der kurze Aufenthalt des „Gauss" auf der Reede von Durban, wo wir ursprünglich zu landen beabsichtigten, zu einer Deviationsbestimmung in Deklination benützt. Die Sonne wurde bei bekannter Uhrzeit mittels Schattenstifts von D. M. gepeilt; Sonne und Nadel sind je zehn Mal auf jedem Kurs eingestellt; Verhältnisse waren günstig.

Der wahre Wert $D = 23.6°$ W ist mir durch Herrn Professor Beattie-Kapstadt nach den Daten der südafrikanischen Landesvermessung freundlichst mitgeteilt worden.

**Die Beobachtungen und Deviationen.**

| Kurs | $D'$ | $\delta$ |
|---|---|---|
| N | 23.2° | + 0.4° |
| NO | 20.7 | + 2.9 |
| O | 21.6 | + 2.0 |
| SO | 23.0 | + 0.6 |
| S | 22.0 | + 1.6 |
| SW | 23.1 | + 0.5 |
| W | 25.7 | — 2.1 |
| NW | 25.5 | — 1.9 |

**Die Koeffizienten.**

$\mathfrak{A} = +\ 9 \pm 2$
$\mathfrak{B} = +\ 33 \pm 3$
$\mathfrak{C} = -\ 6 \pm 3$
$\mathfrak{D} = +\ 20 \pm 3$
$\mathfrak{E} = +\ 9 \pm 3$

nach Formel I

## § 53. **Simonstown** (Kaphalbinsel).

Am 16. Juni 1903, einige Tage nach unserer Ankunft in der Simons-Bai, drehte der „Gauss" innerhalb der Bai zwischen dem Ufer und "Roman Rock" zu ausführlichen Deviationsbestimmungen, unter günstigen Verhältnissen und mit eigenem Dampf, nachdem zuvor das Experiment des Drehens mit Hülfe eines Schleppers mißglückt war.

Am 2. August, am Tag unserer Abfahrt, wurde gelegentlich der Ausfahrt aus der Bai noch einmal eine abgekürzte Deviationsbestimmung unter etwas durch den Aufbruch erschwerten Umständen vorgenommen, um einen etwaigen Einfluß des längeren Vor-Anker-liegens auf das Schiffseisen erkennen zu können.

**Die Beobachtungen an Bord**

waren in Deklination nur am 16. Juni möglich: die Sonne wurde bei bekannter Uhrzeit auf jedem Kurs mittels Schattenstift von D. M. zehnmal gepeilt; ebenso die Nadel zehnmal eingestellt.

Die Horizontalintensität wurde aus Ablenkungen von Nadel I durch Magnet I ermittelt; auf jedem Kurs vier Lagen einer und derselben Entfernung zu je zehn Einstellungen. Diese Messungen wurden am 16. Juni und 2. August in gleicher Weise ausgeführt.

Die Inklination wurde mit Inklinatorium D. M., Nadel II A o, durch Beobachtung von Umkehrpunkten gemessen; am 16. Juni auf jedem Kurs in vier, am 2. August nur in zwei

verschiedenen Lagen der Nadel; zu jeder Lage gehören 20 Paare von Umkehrpunkten. Wie die Tabelle zeigt, sind die mittleren Amplituden auf den einzelnen Kursen und an Land einander so gleich, daß zur Feststellung der Inklinationsunterschiede keinerlei Korrektion nötig ist.

**Die Beobachtungen an Land**

wurden genau in derselben Weise wie an Bord an verschiedenen Orten wiederholt; in ausführlicher Weise auf der „Rifle Range" an dem in § 29 näher bezeichneten Ort der allgemeinen Konstantenbestimmung auf der Höhe der Kaphalbinsel, in kürzerer Weise noch an zwei Küstenpunkten der False Bay, um die Gegend auf eine etwaige lokale Gestörtheit zu prüfen; nämlich einmal nördlich von Simonstown am Strand von Fish Hoek, in der Nähe der Haltestelle der Kapstädter Bahn, außerdem südlich von Simonstown bei Oatland Point, gegenüber der im Wasser stehenden Bake (weiß mit rotem Band).

Die Deklinationsbestimmungen, die nur auf der Rifle Range gewonnen wurden, gaben die völlig herausfallenden Werte $D = 27.6$ und 27.8 am 23. Juni 1903 a. m. Die Beobachtungen mußten etwas abseits von dem im Schatten eines Buschwäldchens stehenden Zelt angestellt werden, um die Sonne zu bekommen. Die obigen Werte widersprechen den Angaben sowohl der Seekarten, als auch der südafrikanischen Landesvermessung. Der Grund der Abweichung ist nicht mehr festzustellen; lokale Störung ist nach den Beobachtungen von $H$ und $i$ nicht sehr wahrscheinlich. Benutzt wurden daher die Messungen von Herrn Professor Beattie, der Ende November 1901 bei der etwa 15 Seemeilen abliegenden Signalstation an der Tafelbai den Wert 28.9 festgestellt hatte. Berücksichtigt man die örtliche Zunahme von $D$ von der Table Bay zur False Bay, die 5′ beträgt, und die zeitliche Abnahme von $D$ in Südafrika von 5′ im Jahr, so erhält man für die False Bay für Juni 1903 aus den Beattieschen Daten $D = 28.85°$. Dieser Wert ist zur Bestimmung von $\mathfrak{A}$ benutzt.

Die $H$-Messungen sind mittels des Temperaturkoeffizienten von $\log \sin \varphi$, der $18 \cdot 10^{-5}$ beträgt, auf dieselbe Temperatur reduziert.

**Die Beobachtungen** (mit Deviations-Magnetometer).

**An Bord, 16. Juni 1903.**

| Kurs | Deklination (Schattenstift) | | Horizontalintensität (Ablenkungen, Magn. I) | | | Inklination (Schwingungen) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Strenger Kurs | D′ | Strenger Kurs | φ′ | t′ | Strenger Kurs | i′ | Amplitude |
| N | N 0 O | 28.3° | N 0 W | 47.08° | 15.8° | N 1 O | —57.15° | 75 |
| NO | N 45 O | 25.8 | N 44 O | 48.83 | 14.2 | N 44 O | 57.85 | 72 |
| O | N 88 O | 26.2 | S 89 O | 52.49 | 14.0 | O | 58.9 | 76 |
| SO | S 46 O | 28.1 | S 45 O | 53.34 | 13.9 | S 45 O | 59.25 | 75 |
| S | S 1 W | 28.4 | S 1 W | 52.32 | 15.4 | S | 58.9 | 76 |
| SW | S 46 W | 28.8 | S 47 W | 53.52 | 15.9 | S 47 W | 59.55 | 74 |
| W | S 90 W | 30.6 | N 90 W | 53.11 | 13.9 | N 89 W | 59.35 | 70 |
| NW | N 45 W | 31.3 | N 46 W | 49.52 | 14.6 | N 43 W | 58.1 | 73 |

**An Land.**

| Ort | Datum | φ | t | Für 16. Juni i | Ampl. | Für 2. August i | Amplit. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fish Hook | 17. Juni | 51.46° | 15.0 | —58.72° | 76 | —58.53° | 79 |
| Rifle Range | 19. | 51.48 | 15.8 | 58.78 | 75 | 58.69 | 75 |
| | 22. | 51.45 | 15.85 | 58.89 | 74 | 58.90 | 75 |
| | 22. | 51.51 | 16.25 | 58.91 | 74 | 58.82 | 74 |
| Oatland Pt. | 31. Juli | 50.84 | 20.0 | N II, A o, v u. h | | N II, A o, v allein | |
| **D = 28.85°** | Mittel | **51.35** | 16.6 | **58.82** | | **58.73** | |

**An Bord, 2. August 1903.**

| | Horizontalintensität (Ablenkungen, Magn. I) | | | Inklination (Schwingungen) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Strenger Kurs | φ' | t' | i' | Ampl. |
| N | N | 46.95° | 17.0 | —57.07° | 74 |
| NO | N 45 O | 49.10 | 16.7 | | |
| O | O | 53.00 | 16.4 | 59.25 | 75 |
| SO | S 45 O | 53.95 | 17.2 | | |
| S | S 1 O | 52.75 | 17.1 | 59.16 | 73 |
| SW | S 47 W | 53.70 | 17.3 | | |
| W | W | 52.85 | 16.6 | 59.12 | 78 |
| NW | N 46 W | 49.77 | 16.5 | | |

**Die Deviationen.**

| | 16. Juni | | | 2. August | |
|---|---|---|---|---|---|
| Kurs | δ | $\frac{H'}{H}$ | $\frac{Z'}{Z}$ | $\frac{H'}{H}$ | $\frac{Z'}{Z}$ |
| N | +0.5° | 1.067 | 0.999 | 1.069 | 1.002 |
| NO | +3.05 | 1.039 | 1.000 | 1.033 | |
| O | +2.7 | 0.986 | 0.989 | 0.978 | 0.998 |
| SO | +0.8 | 0.975 | 0.991 | 0.966 | |
| S | +0.4 | 0.987 | 0.9905 | 0.981 | 0.998 |
| SW | +0.05 | 0.972 | 1.001 | 0.969 | |
| W | —1.75 | 0.978 | 0.9985 | 0.980 | 0.995 |
| NW | —2.45 | 1.028 | 1.0005 | 1.023 | |

**Die Koeffizienten.**

**16. Juni**

| | | |
|---|---|---|
| $\mathfrak{A} = +\ 7 \pm 1$ | $\lambda = 1.0045 \pm 1$ | $\mu = 0.996 \pm 1$ |
| $\mathfrak{B} = +39 \pm 1$ | $\mathfrak{B} = +41 \pm 1$ | $g = -\ 6 \pm 3$ |
| $\mathfrak{C} = \ \ 0 \pm 1$ | $\mathfrak{C} = -\ 4 \pm 1$ | $h = -\ 7 \pm 3$ |
| $\mathfrak{D} = +21 \pm 1$ | $\mathfrak{D} = +22 \pm 1$ | |
| $\mathfrak{E} = \ \ 0 \pm 1$ | $\mathfrak{E} = -\ 2 \pm 1$ | |
| aus $\delta$ | aus $\frac{H'}{H}$ | |
| nach Formel I | nach Formel 34 | nach Formel III |

**2. August**

| | |
|---|---|
| $\lambda = 1.000 \pm 1$ | $\mu = 0.998 \pm 2$ |
| $\mathfrak{B} = +43 \pm 2$ | $g = -\ 4 \pm 4$ |
| $\mathfrak{C} = -\ 1 \pm 2$ | $h = +\ 2 \pm 4$ |
| $\mathfrak{D} = +23 \pm 2$ | |
| $\mathfrak{E} = -\ 3 \pm 2$ | |
| nach Formel 34 | nach Formel III' |

Von den Inklinationsbeobachtungen an Land sind entsprechend den auf Seite 243* u. mitgeteilten Nadellagen bei den Bordbeobachtungen für das $i$ vom 16. Juni immer vier, für das $i$ vom 2. August immer nur zwei Lagen benutzt; daher der geringe Unterschied der für beide Tage angegebenen Landwerte. Auf Oatland Point wurde $i$ nur aus Ruhelagen bestimmt; der Wert stimmt zwar mit dem ebenfalls aus Ruhelagen gewonnenen Wert von der Rifle Range überein, ist aber für die aus Umkehrpunkten ermittelten $i'$ von Bord nicht ohne weiteres zu verwenden.

Die Berechnung liefert sehr gut in sich übereinstimmende Resultate, insbesondere aus den Beobachtungen vom 16. Juni. Dabei stimmen auch die nach zwei ganz verschiedenen Methoden, nämlich aus $D$ bzw. $H$ abgeleiteten Drehungskoeffizienten bis auf wenige Tausendel zusammen.

Was den Unterschied der Koeffizienten vom Anfang und vom Ende der fast zweimonatlichen Liegezeit in der False Bay betrifft, so stimmen die Drehungskoeffizienten der beiden Messungen völlig miteinander überein, wenn wir absehen von dem die Fehlergrenzen etwas überschreitenden Unterschied des immer etwas unsicheren $h$. Nur der gut bestimmte Mittelwertskoeffizient $\lambda$ scheint sich während des Liegens, wohl infolge des häufigen Herumschwingens des Schiffs um seinen Anker, etwas verringert zu haben.

## § 54. St. Helena.

In den letzten Tagen des August 1903 waren auf der Hochebene von Longwood in der Nähe des einstigen Observatoriums von J. Cl. Ross ausführliche Konstantenbestimmungen vorgenommen worden, darunter auch alle diejenigen Beobachtungen, welche bei der Abfahrt an Bord zum Zwecke der Deviationsbestimmung wiederholt wurden.

Um noch einen Einblick in die magnetische Gestörtheit der Insel, insbesondere unseres Beobachtungsplatzes von Longwood zu erhalten, wurde am 1. September ein Streifzug durch die Insel unternommen, auf welchem an sieben verschiedenen Stationen mit Hilfe von D. M. die magnetischen Elemente bestimmt wurden; nämlich *D* mittels Schattenstift, Sonnenpeilung bei bekannter Uhrzeit, *H* durch Ablenkungen mit Magnet II und *i* mit zwei Nadeln in je vier Lagen (Nadel I, *A u* und Nadel II, *A o*) und zwar nicht aus Schwingungen wie an Bord, sondern aus Ruhelagen, drei Einstellungen in jeder Lage.

Die nähere Ortsbezeichnung und die absoluten Werte dieser Stationen sind in dem Kapitel „Landbeobachtungen" mitgeteilt. Hier kommt es uns nur darauf an, für das Land die wahrscheinlichsten Werte derjenigen Beobachtungsstücke zu finden, die nachher an Bord auf acht äquidistanten Kursen ermittelt wurden. Von denselben ist nur *i* von Land und von Bord nicht ohne weiteres vergleichbar, da an Bord die Schwingungsmethode, an Land nur einmal, auf Longwood, die Schwingungsmethode neben den Ruhelagen, sonst zur Zeitersparnis immer nur Ruhelagen angewandt worden sind. Aus den Ruhelagenbeobachtungen können wir jedoch die Korrektion von Longwood auf die ganze Insel ableiten, mit welcher wir das *i* $= -34{,}73°$ der Schwingungsbeobachtungen auf Longwood verbessern, um so für die Deviationsbestimmungen ein einwandfreies *i* zu erhalten.

Am 1. September war das Wetter etwas unfreundlich; die Sonne konnte daher nur auf einzelnen Stationen beobachtet werden.

**Beobachtungen auf den einzelnen Stationen der Insel.**

| Stationen | *D* Schattenstift | *H* Ablenkungen Magnet II φ | *t* | *i* Ruhelagen, Mittel aus N I *A o*, N II *A u* | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Longwood Plain** | **25.4° W** | **36.7°** | + 13.2 | **— 33.66°** | dreifaches Gewicht |
| Ladder Hill | 24.0 | 35.25 | 19.1 | 34.50 | |
| Plantation House | 25.55 | 37.25 | 15.3 | 33.38 | |
| High Peak | | 37.0 | 14.8 | 36.45 | |
| Bamboo Hedge | | 36.9 | 15.4 | 33.42 | |
| Stitch Ridges | 24.6 | 36.9 | 13.6 | 35.52 | |
| Hutt's Gate | 25.45 | 38.55 | 14.0 | 32.00 | |
| Ladderhill Point | | 35.45 | 18.3 | 32.76 | |
| Gesamtmittel von St. Helena | **25.1°** | **36.74** | 15.0 | **33.90** | |

Wie man sieht, liegen die Beobachtungen von Longwood, namentlich bei den zahlreicher vertretenen Werten von *H* und *i*, ganz nahe bei dem Gesamtmittel der Insel. Daraus entnehmen wir, daß die Station auf Longwood am wenigsten gestört ist; dies stimmt auch ganz zum Charakter der Lage von Longwood, der einzigen ausgedehnten gleichmäßigen Hochebene auf der Insel (etwa 600 m über dem Meer). Aus diesem Grunde, außerdem noch weil die Beobachtungen auf Longwood in ausführlicher Ruhe, diejenigen auf den andern Stationen nur in der Eile eines eintägigen Streifzuges gewonnen wurden, geben wir den Longwooder Beobachtungen das dreifache Gewicht. Die oben erwähnte Korrektion von Longwood in Inklination beträgt demnach im Sinne südlicher Inklination $+ 0.24°$.

## Bordbeobachtungen.

Am 2. September a. m. drehte der „Gauss“ bei dem endgültigen Verlassen der Insel vor Jamestown in einer mittleren Entfernung von 4—5 Seemeilen, nicht unter 3, nicht über 6, von der Küste zu folgenden ausführlichen Deviationsbestimmungen; es wurde beobachtet:

*D'* mit D. M.-Schattenstift aus Sonnenpeilungen bei bekannter Uhrzeit; je zehn Einstellungen von Sonne und Nadel I;

*H'* durch Ablenkungen derselben Nadel mittels Magnet II, je vier Lagen einer und derselben Entfernung zu zehn Einstellungen; alle Ablenkungswinkel sind mittels des Temperaturkoeffizienten von $\log \sin \varphi$, der $14 \cdot 10^{-5}$ beträgt, auf dieselbe Temperatur reduziert;

*i'* mittels Inklinationsnadel I, *A u*, Schwingungen, je vier Lagen zu zwanzig Paaren von Umkehrpunkten; wegen der nahen Übereinstimmung der mittleren Amplituden ist von einer Korrektion wegen Schwingungen abgesehen.

### Die Beobachtungen.

**An Bord** Deviationsmagnetometer. 2. September 1903.

| Kurs | Deklination (Schattenstift) | | Horizontalintensität (Ablenkungen, Magn. II) | | | Inklination (Schwingungen) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Strenger Kurs | D' | Strenger Kurs | φ' | t | i' | Mittlere Amplitude |
| N | N 2 O | 24.8° | N | 34.25° | 21.1 | — 33.9° | 52 |
| NO | N 45 O | 22.7 | N 45 O | 35.45 | 21.0 | 34.6 | 53 |
| O | N 88 O | 23.2 | O | 37.1 | 20.7 | 35.5 | 52 |
| SO | S 46 O | 24.6 | S 46 O | 36.6 | 22.0 | 35.2 | 57 |
| S | S 3 O | 24.6 | S 1 O | 36.3 | 21.5 | 34.8 | 52 |
| SW | S 44 W | 24.7 | S 44 O | 36.9 | 20.5 | 35.0 | 53 |
| W | S 89 W | 26.5 | W | 37.2 | 20.8 | 35.6 | 56 |
| NW | N 44 W | 27.4 | N 45 W | 35.5 | 20.9 | 34.6 | 49 |
| **An Land** (s. o.) | D = **25.1** | | φ = **36.7**$_4$ | | 15.0 | i = **34.9**$_7$ | 49 |

### Die Deviationen.

| | $\delta$ | $\frac{H'}{H}$ | $\frac{Z'}{Z}$ aus H u. i |
|---|---|---|---|
| N | + 0.3° | 1.056 | 1.018 |
| NO | + 2.45 | 1.029 | 1.014 |
| O | + 1.9 | 0.989 | 1.010 |
| SO | + 0.5 | 1.000 | 1.011 |
| S | + 0.5 | 1.008 | 1.001 |
| SW | + 0.4 | 0.994 | 0.997 |
| W | — 1.35 | 0.987 | 1.011 |
| NW | — 2.3 | 1.027 | 1.014 |

**Die Koeffizienten.**

| | | |
|---|---|---|
| $\mathfrak{A} = +\ 4.5 \pm 0.4$ | $\lambda = 1.012 \pm 1.4$ | $\mu = 1.010 \pm 1.4$ |
| $\mathfrak{B} = +\ 29 \pm 0.6$ | $\mathfrak{B} = +\ 24 \pm 1.4$ | $g = -\ 5 \pm 1.3$ |
| $\mathfrak{C} = -\ 4 \pm 0.6$ | $\mathfrak{C} = -\ 2 \pm 1.4$ | $h = +\ 2 \pm 1.3$ |
| $\mathfrak{D} = +\ 20 \pm 0.6$ | $\mathfrak{D} = +\ 23 \pm 1.4$ | |
| $\mathfrak{E} = +\ 1 \pm 0.6$ | $\mathfrak{E} = +\ 1 \pm 1.0$ | |
| aus $\delta$ | aus $\frac{H'}{H}$ | |
| nach Formel I | nach Formel 34 | |

Die Resultate stimmen in sich sehr gut überein; ebenso überschreiten die nach den zwei ganz verschiedenen Methoden bestimmten horizontalen Drehungskoeffizienten die durch die mittleren Fehler gegebenen engen Grenzen nur unerheblich; wir können immerhin darin wieder ein Zeichen für die beschränkte Bedeutung der berechneten mittleren Fehler erblicken.

## § 55. São Miguel (Azoren).

Am 28. Oktober 1903 drehte der „Gauss" vor der Einfahrt in den Hafen von Ponta Delgada in einer Entfernung von etwa $1^1/_2$—3 Seemeilen von der Südküste, auf der Strecke zwischen Ponta Delgada und Alagoa, zu den nachstehenden Deviationsbestimmungen. Das Wetter war stürmisch und regnerisch; Deklination konnte nicht beobachtet werden. Es wurde bestimmt:

$H'$ mittels D. M. durch Ablenkungen mit Magnet I in vier Lagen einer Entfernung zu je zehn Einstellungen;

$T'$ mittels L. C. durch Ablenkungen mit Nadel 5, Ablenkungen der Nadel 4 nach beiden Seiten auf Kreis Ost und Kreis West zu je 6 Einstellungen; dabei war der Gedanke maßgebend gewesen, durch die Ablenkungen außer $T'$ auch $i'$ aus den Mittellagen zu gewinnen, und so $H'$ und $Z'$ in doppelter Weise, einmal durch D. M., sodann durch L. C., zu erhalten.

Wie wir im Kapitel der Inklination sehen werden, sind jedoch die nach der Vertikalen abgelenkten Lagen der Inklinationsnadel wegen eines Instrumentalfehlers nicht sehr zuverlässig, und es fragt sich daher, welches der sicherste Weg ist, $Z$ zu bestimmen. Wir haben dazu drei Möglichkeiten:

| Methode. | | Unsicherheit der Methode. | |
|---|---|---|---|
| 1) aus $H$ und $i$ | $Z = H \operatorname{tg} i$ | $\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{2\,\Delta w}{\sin 2\,i}$ | $= +\ 2.4\,\Delta w$ |
| 2) aus $T$ und $i$ | $Z = c\,\frac{\sin i}{\sin \psi}$ | $\frac{\Delta Z}{Z} = (\operatorname{ctg} i - \operatorname{ctg} \psi)\,\Delta w$ | $= -\ 0.4\,\Delta w$ |
| 3) aus $T$ und $H$ | $Z = \sqrt{\frac{c^2}{\sin^2 \psi} - H^2}$ | $\frac{\Delta Z}{Z} = -\frac{\operatorname{ctg} \psi}{\sin^2 i}\,\Delta w$ | $= -\ 1.2\,\Delta w$ |

$i$ und $\psi$, als mittlere Summe bezw. Differenz der beiderseitigen L. C.-Ablenkungen gewonnen, sind um den gleichen Betrag und im selben Sinn unsicher, sagen wir um den Betrag $\Delta w$, während $H$ aus D. M. als sicher angenommen werden soll. Wir haben oben die Differentialformeln der drei Fälle angeschrieben. Setzt man die mittleren Werte $i = 61°$, $\psi = 47°$ ein,

so zeigt es sich, daß ein Fehler $\Delta w$ bei der zweiten Methode, wo $Z$ allein aus den L. C.-Beobachtungen ermittelt wird, den weitaus geringsten, und nur noch einen unbedeutenden Einfluß auf die Sicherheit von $Z$ ausübt. Diese Methode ist daher allein angewandt.

**Die Landbeobachtungen**

sind in den ausführlichen Messungen enthalten, die in dem Garten des Herrn Major Chaves, des Direktors des meteorologisch-magnetischen Observatoriums auf São Miguel, zum Zweck der Konstantenbestimmung der Schiffsinstrumente angestellt wurden.

Um jedoch ein Urteil über die mögliche Gestörtheit dieses Ortes, sowie der ganzen Insel zu erhalten, wurde in den Tagen vom 30. Oktober bis 4. November ein Streifzug durch die ganze Insel unternommen und dabei auf 23 verschiedenen Stationen eine Bestimmung der magnetischen Elemente vorgenommen. Die Bestimmungen erfolgten mit dem handlichen D. M., $D$ mit Schattenstift, $H$ wie an Bord, $i$ durch zwei Nadeln, aber ohne Ummagnetisierung. Die genaue Bezeichnung der Beobachtungsorte und der absoluten Werte ihrer Elemente ist in dem Kapitel „Landbeobachtungen" zu finden.

Hier interessiert uns nur das Verhältnis der an Bord bestimmten $H'$ und $Z'$ zu den wahren, am Schiffsort herrschenden $H$ und $Z$, die aus den Landbeobachtungen zu ermitteln sind. Während alle $H$ und $H'$ genau auf dieselbe Weise bestimmt sind, ist $Z$ nur noch an einer Station, auf der Hauptstation im Garten des Herrn Major Chaves, in derselben Weise wie an Bord, mittels L. C., beobachtet; aber durch die $H$- und $i$-Messungen von D. M. haben wir das Mittel, für das $Z$ dieses Ortes seine Korrektion wegen lokaler Gestörtheit abzuleiten.

Wir teilen im folgenden alle an Land erhaltenen Messungen der Ablenkungswinkel von D. M., Magnet I Entfernung $e_1$, mit; außerdem noch die relativen Inklinationen, welche Mittelwerte der Nadel I und Nadel II, bestimmt aus Ruhelagen nur mit $Ao$, darstellen. Dabei trennen wir die Stationen in solche vom Südrand und in solche von der Mitte und vom Nordrand der Insel, da die Bordbeobachtungen in einer Entfernung von nur $1^1/_2$—3 Seemeilen südlich von der Mitte der Insel angestellt worden sind, die südlichen Stationen also für unseren Zweck voraussichtlich mehr ins Gewicht fallen werden.

Südliche Stationen.

| Nr. | Ort | Datum 1903 | $H$ (Mgn. I, $e_1$) | | $i$ rel. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\varphi$ | $t$ | |
| | **Ponta Delgada**, im Garten des Herrn Major Chaves | 5. XI. | **39.02°** | 20.55 | **+61.30°** |
| 1 | Rosto do Cão | 30. X. | 37.36 | 22.45 | 59.34 |
| 2 | Populo | „ „ | 33.85 | 21.6 | 60.77 |
| 3 | Termo do Lagôa | „ „ | 38.33 | 21.2 | 59.49 |
| 4 | Agua de Pau | „ „ | 40.54 | 20.9 | 61.11 |
| 5 | Villa Franca | 31. X. | 41.12 | 20.4 | 61.44 |
| 6 | Cerrado dos Bezerros | „ „ | 40.58 | 17.6 | 61.57 |
| 8 | Casa do Saladino | 1. XI. | 42.63 | 21.45 | 62.68 |
| 9 | Povoacão | „ „ | 40.70 | 19.8 | 61.57 |
| 10 | Agua Retorta | „ „ | 39.71 | 16.0 | 61.34 |
| 11 | Labaçal | „ „ | 40.10 | 17.05 | 61.73 |
| 22 | Feteiras | 4. XI. | 40.53 | 18.75 | 62.03 |
| 23 | Relva | „ „ | 39.82 | 16.0 | 61.56 |

Mittlere und nördliche Stationen.

| Nr. | Ort | Datum 1903 | $H$ (Magn. I, $e_1$) | | $i$ rel. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\varphi$ | $t$ | |
| 7 | Caldeiras do Furnas | 31. X. | 41.09° | 20.8 | +61.23° |
| 12 | Casal do Marquez da Praia | 2. XI. | 41.62 | 16.0 | 62.72 |
| 13 | Porto Formoso | „ „ | 43.58 | 18.8 | 62.90 |
| 14 | Ribeira Grande | „ „ | 40.31 | 19.0 | 61.55 |
| 15 | Straße Rib. Gr.-Ponta Delgada | „ „ | 42.38 | 17.2 | 62.31 |
| 16 | Nördl. Fajä de Cima | 3. XI. | 40.40 | 18.9 | 62.83 |
| 17 | Fenaes da Luz | „ „ | 40.82 | 21.2 | 61.92 |
| 18 | Capellas | „ „ | 40.65 | 22.5 | 61.52 |
| 19 | Santa dos Remedios | „ „ | 40.81 | 20.25 | 61.67 |
| 20 | Sete Cidades | 4. XI. | 39.67 | 18.8 | 62.35 |
| 21 | Mosteiros | „ „ | 41.76 | 22.0 | 62.60 |

Diese Reihen lehren, daß auf der Südseite der Insel $H$ etwa $4^0/_0$ stärker, und $i$ einen Grad kleiner ist, als an der Nordseite, daß also die mittlere Inselkuppe die Kraftlinien des Erdfelds gleichsam ansaugt.

Wir haben uns nun zu entscheiden, welche Werte von $H$ und $i$, bzw. $Z$ wir für den Schiffsort annehmen wollen. Gedreht wurde in einer Entfernung von $1^1/_2$—3 Seemeilen ab von der Südküste; die Breite der ganzen Insel ist dort etwa vier Seemeilen. Die oben mitgeteilten Stationen liegen ziemlich gleichmäßig über die ganze Insel verteilt, dreizehn an der Südküste, elf in der Mitte und an der Nordküste. Der Lage des Drehorts entsprechend verschaffen wir den südlichen Stationen ein Übergewicht bei der Ermittlung der für den Schiffsort anzunehmenden Mittelwerte von $H$ und $i$: wir erteilen den Werten der ersten Gruppe das doppelte

## Die Beobachtungen.

**An Bord,** Südküste von São Miguel, zwischen Pa Delgada und Alagoa, 28. Oktober 1903.

| Kurs | Horizontalintensität (D. M. Ablenkungen Magn. I) | | | Totalintens. u. Inkl. (L. C. Ablenkungen N 5) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Strenger Kurs | $\varphi'$ | t | $\psi'$ | t | $i'$ |
| N | N 2 W | 39.1° | 20.1° | 47° 13′ | 20.7° | +59° 44′ |
| NO | N 44 O | 40.25 | 20.1 | 47 27 | 21.0 | 60 22 |
| O | O | 40.75 | 20.2 | 47 45 | 21.3 | 60 45 |
| SO | S 45 O | 38.6 | 20.15 | 47 16 | 21.2 | 59 42 |
| S | S | 37.65 | 20.2 | 46 36 | 20.5 | 59 16 |
| SW | S 44 W | 39.45 | 20.2 | 47 8 | 20.1 | 59 44 |
| W | S 89 W | 40.65 | 20.2 | 47 50 | 20.3 | 60 21 |
| NW | N 45 W | 39.85 | 20.1 | 47 43 | 20.5 | 60 4 |
| **An Land,** Pfeiler v. H. M. Chaves | | 39.02 | 20.55 | 46 15 | 15.0 | 60 57 |
| reduziert auf den Schiffsort (s. u.) | | **40.04** | 19.54 | $Z_{\text{Schiffsort}} = 0.9872\, Z_{\text{Pfeiler}}$ | | |

**Die Deviationen.**

| | $\frac{H'}{H}$ | $\frac{Z'}{Z}$ |
|---|---|---|
| N | 1.020 | 0.983 |
| NO | 0.996 | 0.986 |
| O | 0.986 | 0.984 |
| SO | 1.031 | 0.982 |
| S | 1.053 | 0.988 |
| SW | 1.012 | 0.985 |
| W | 0.988 | 0.980 |
| NW | 1.004 | 0.979 |

**Die Koeffizienten.**

$\lambda = 1.011 \pm 1$
$\mathfrak{B} = -16 \pm 2$
$\mathfrak{C} = -2 \pm 2$
$\mathfrak{D} = +25 \pm 2$
$\mathfrak{E} = +7 \pm 2$
nach Formel II'

$\mu = 0.983 \pm 1$
$g = -3 \pm 3$
$h = -3 \pm 3$
nach Formel III' mit $i = +61.5°$

Gewicht und mitteln dann sämtliche Inselwerte. Auf diese Weise erhalten wir als wahrscheinlichste Werte am

**Schiffsort $\varphi = 40.04°$, $t = 19.5$**

**$i = 61.50$ (rel.).**

Da die L. C.-Beobachtungen an Land nur auf dem Pfeiler von Herrn Major Chaves angestellt sind, brauchen wir noch für $Z$ die Reduktion des Pfeilers auf den Schiffsort. Aus den oben mitgeteilten Werten des Ablenkungswinkels $\varphi$ der Horizontalnadel und von $i$ sowohl für den Pfeiler, als auch für den Schiffsort findet man ohne weiteres:

$$Z_{\text{Schiffsort}} = 0.9872\, Z_{\text{Pfeiler}}.$$

## § 56. Kiel 1903 (Heimkehr).

Zwei Tage nach unsrer Heimkehr drehte der „Gauss" im Kieler Hafen, etwa in der Mitte zwischen Holtenau und dem Bakensystem der Kaiserlichen Marine, am 28. November 1903 a. m. Das Wetter war trübe, Wind flau, See ruhig, so daß die Nadeln fast so ruhig wie an Land spielten.

Wegen mangelnder Sonne konnte $D$ nicht bestimmt werden; denn die Peileinrichtung von D. M. (Fernrohr) ist überhaupt für Bord ungeeignet (siehe Seite 229), zudem war sie wegen Beschädigung auf der Reise nicht mehr zuverlässig. So wurde genau dasselbe Beobachtungsprogramm, wie bei São Miguel ausgeführt: $H$ ermittelt mit D. M. aus Ablenkungen mit Magnet I, vier Lagen in der Entfernung $e_1$ zu je zehn Einstellungen; $T$ und $i$ mit L. C. aus Ablenkungen mit Nadel 5, Kreis Ost und Kreis West, je zwölf Einstellungen.

Die Landbeobachtungen wurden in derselben Weise, wie an Bord angestellt, am 28. November p. m. gleich nach dem Drehen, genau an demselben Platz auf der Johanneshöhe, wo ich schon 28 Monate zuvor zu demselben Zweck beobachtet hatte; ferner am 2. Dezember a. m. zur Sicherheit noch auf einer zweiten Station über der Landungsbrücke von Mönkeberg.

Die Landbeobachtungen können ohne weiteres zur Bestimmung von $(H' : H)$ und $(Z' : Z)$ verwendet werden, da eine lokale Störung der Ostseite des Kieler Hafens nicht zu befürchten ist. Die Temperaturunterschiede der Ablenkungsbeobachtungen an Land und an Bord sind durch die bekannten Temperaturkoeffizienten unschädlich gemacht.

### Die Beobachtungen.

**An Bord,** Kieler Hafen, zwischen Holtenau und Bakensystem. 28. November 1903 a. m.

| Kurs | Horizontalintensität (D. M. Ablenkungen Magn. I) | | | Totalintens. u. Inklination (L. C. Ablenkungen Ndl. 5) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Strenger Kurs | φ | t | ψ | t | i |
| N | N 1 O | 53.65° | + 2.8 | 46° 7′ | + 3.2 | +67° 12′ |
| NO | N 45 O | 55.05 | 2.5 | 46 33 | 3.0 | 67 30 |
| O | N 89 O | 55.25 | 2.5 | 46 29 | 3.1 | 67 36 |
| SO | S 45 O | 51.9 | 1.8 | 45 59 | 3.0 | 66 45 |
| S | S 1 O | 49.4 | 2.2 | 45 35 | 3.0 | 65 55 |
| SW | S 44 W | 50.9 | 2.0 | 45 47 | 3.1 | 66 25 |
| W | S 89 W | 53.9 | 3.9 | 46 25 | 3.0 | 67 25 |
| NW | N 44 W | 54.55 | 2.7 | 46 2 | 3.2 | 67 19 |
| **An Land** | 28. XI. p. m. | 53.05 | 2.2 | 45 50 | + 3.2 | 67 31 |
| | 2. XII. a. m. | 53.30 | — 0.3 | 45 56 | + 1.4 | 67 38 |

**Die Deviationen.**

| | $\frac{H'}{H}$ | $\frac{Z'}{Z}$ |
|---|---|---|
| N | 0.993 | 0.993 |
| NO | 0.976 | 0.988 |
| O | 0.974 | 0.990 |
| SO | 1.017 | 0.992 |
| S | 1.054 | 0.993 |
| SW | 1.031 | 0.993 |
| W | 0.989 | 0.990 |
| NW | 0.982 | 0.996 |

**Die Koeffizienten.**

$\lambda = 1.002 \pm 0.3$ $\quad \mu = 0.992 \pm 1$

$\mathfrak{B} = -31 \pm 0.5$

$\mathfrak{C} = +7 \pm 0.5$ $\quad \mathfrak{g} = -1 \pm 3$

$\mathfrak{D} = +21 \pm 0.5$ $\quad \mathfrak{h} = +4 \pm 3$

$\mathfrak{E} = -2 \pm 0.5$

nach Formel II′ $\quad$ nach Formel III′ mit $i = 68.2°$

## III. Abschnitt: Zusammenstellung und Untersuchung der Ergebnisse.

### § 57. Die konstanten Koeffizienten und ihre Genauigkeit.

Nach den Ergebnissen des letzten Abschnitts stellen wir im folgenden diejenigen Deviationskoeffizienten zusammen, die sich nicht mit dem erdmagnetischen Feld ändern, die vielmehr konstant bleiben, solange das Schiffseisen selber sich nicht ändert.

## Zusammenstellung der konstanten Koeffizienten in $10^{-3}$ Einheiten.

| Ort | Datum | H-Koeffizienten. Instrument | Methode | $\mathfrak{A}$ | Gew. | $\lambda$ | Gew. | $\mathfrak{D}$ | Gew. | $\mathfrak{E}$ | Gew. | Z-Koeffizienten. Instrument | Methode | $\mathfrak{g}$ | Gew. | $\mathfrak{h}$ | Gew. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ausreise** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kiel | 1901 VIII. 6. | D. M. | D | + 13 ± 5 | 1/4 | = 1.000 + | | + 18 ± 6 | 1/2 | − 13 ± 8 | 1/2 | L. C. | T, i | − 7 ± 4 | 1/2 | − 4 ± 5 | 1/2 |
| | | L. C. | H (T, i) | | | 12 ± 4 | 1/2 | 29 ± 7 | 1/2 | + 6 ± 6 | 1/2 | | | | | | |
| São Vicente | IX. 14. | L. C. | H (T, i) | | | 4 ± 1 | 1 | 32 ± 1 | 1/2 | − 8 ± 1 | 1/2 | L. C. | T, i | + 5 ± 6 | 1/4 | − 4 ± 6 | 1/2 |
| Auf See | IX. 24. | N. K. | D | | | | | 19 ± 3 | 1/2 | + 7 ± 3 | 1/2 | | | | | | |
| Auf See | X. 7. | N. K. | D | | | | | 24 ± 2 | 1 | 0 ± 2 | 1 | | | | | | |
| Auf See | X. 24 | N. K. | D | | | | | 29 ± 4 | 1 | − 2 ± 4 | 1 | D. M. | i, Z | − 8 ± 1 | 1 | + 3 ± 1 | 1 |
| Auf See | X. 30. | D. M. | D | | | | | 29 ± 4 | 1 | 0 ± 4 | 1 | D. M. | i, Z | − 6 ± 2 | 1 | − 5 ± 2 | 1 |
| Kapstadt | XI. 23. | D. M. | D | + 4 ± 2 | 2 | | | 24 ± 2 | 2 | + 3 ± 2 | 2 | D. M. | T, Z, i | + 1 ± 9 | 1/2 | − 2 ± 9 | 1/2 |
| | | D. M. | H (T, i) | | | | | 26 ± 6 | 1/2 | − 1 ± 6 | 1/2 | | | | | | |
| Kerguelen | 1902 I. 31. | D. M. | D | | | | | 26 ± 2 | 1/2 | − 8 ± 2 | 1/2 | | | | | | |
| **Heimreise** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Packeis | 1903 II, III | D. M. | D, H | + 4 ± 1 | 2 | 5 ± 2 | 2 | 25 ± 4 | 1 | 0 ± 4 | 1 | D. M. | H, i | − 20 ± 4 | 1/8 | + 1 ± 3 | 1 |
| Durban | V. 31. | D. M. | D | + 9 ± 2 | 1/2 | | | 20 ± 3 | 1 | + 9 ± 3 | 1/2 | | | | | | |
| Simonstown | VI. 16. | D. M. | D | + 7 ± 1 | 1/2 | | | 21 ± 1 | 2 | 0 ± 1 | 2 | D. M. | H, i | − 6 ± 3 | 2 | − 7 ± 3 | 1/4 |
| | | D. M. | H (Abl.) | | | 4 ± 1 | 2 | 22 ± 1 | 2 | − 2 ± 1 | 2 | | | | | | |
| | VIII. 2. | D. M. | H (Abl.) | | | 0 ± 1 | 1 | 23 ± 2 | 1 | − 3 ± 2 | 1 | D. M. | H, i | − 4 ± 4 | 2 | + 2 ± 4 | 1 |
| St. Helena | IX. 2. | D. M. | D | + 4 ± 0 | 1 | | | 20 ± 1 | 2 | + 1 ± 1 | 2 | D. M. | H, i | − 5 ± 1 | 2 | + 2 ± 1 | 2 |
| | | D. M. | H (Abl.) | | | 12 ± 1 | 1/2 | 23 ± 1 | 2 | + 1 ± 1 | 2 | | | | | | |
| São Miguel | X. 28. | D. M. | H (Abl.) | | | 11 ± 1 | 1/2 | 25 ± 2 | 1/2 | + 7 ± 2 | 1/2 | L. C. | T | − 3 ± 3 | 1 | − 3 ± 3 | 1 |
| Kiel | XI. 28. | D. M. | H (Abl.) | | | 2 ± 0 | 2 | 21 ± 0 | 2 | − 2 ± 0 | 2 | L. C. | T | − 1 ± 3 | 1 | + 4 ± 3 | 1 |

Die Koeffizienten und ihre mittleren Fehler sind in Einheiten der dritten Dezimale angegeben; die Unsicherheit von einer Einheit gefährdet also irgendeinen *H*- bzw. *Z*-Wert um allerhöchstens ein Promille. Die Festsetzung der Gewichte ist unten erläutert. Die Rubriken „Instrument und Methode" sollen zeigen, auf welch mannigfache und völlig verschiedenartige Weise die Koeffizienten bestimmt worden sind. Nach unserer üblichen Bezeichnungsweise bedeutet „D. M." das Deviationsmagnetometer, „L. C." den Lloyd-Creak-Apparat, „N. K." den Normalkompaß. Über die angedeutete Methode findet man Näheres im vorhergehenden Abschnitt.

### Überblick.

Die konstanten Koeffizienten rühren ausnahmslos vom weichen Schiffseisen her. Überblicken wir sie, so zeigen die vom symmetrisch verteilten Eisen herrührenden Werte $\mathfrak{D}$ und $g$ den gleichmäßigsten Verlauf: $\mathfrak{D}$ ist namentlich auf der Heimreise sehr scharf bestimmt und unveränderlich, ist dabei aber ausgesprochenermaßen etwas kleiner als auf der Ausreise. Auch $g$ ist während der ganzen Reise leidlich gut und unveränderlich, abgesehen von den unsicher bestimmten Werten von São Vicente und Kapstadt, sowie dem durch die besondere Ungunst der Inklination und der benützten Kurse entstellten Wert aus dem Packeis (s. § 51).

Viel sprunghafter sind die vom unsymmetrisch verteilten Schiffseisen herrührenden Koeffizienten $\mathfrak{E}$ und $h$. Einmal sind sie so klein, daß sie sich unsern Beobachtungsmethoden fast völlig entziehen; andererseits scheinen in den verhältnismäßig kurzen und kleinen Eisenmassen, die hier in Betracht kommen, tatsächlich leichter Veränderungen ihrer magnetischen Eigenschaften vorzukommen, als in den großen, durchlaufenden Massen vom Längsschnitt und Querschnitt des Schiffes.

Eine besondere Stellung nehmen die Mittelwertskoeffizienten $\mathfrak{A}$ und $\lambda$ ein, insofern als sie ganz und gar auf den absoluten Werten der Landbeobachtungen beruhen und eine etwaige lokale Störung derselben voll und ganz enthalten. So ist es z. B. sehr wahrscheinlich, daß die beiden herausfallenden Werte von $\lambda$ auf der Heimreise, die von St. Helena und São Miguel, noch etwas von der lokalen Gestörtheit ihres Ursprungsorts beeinträchtigt sind, wenn sie auch auf eingehenden Untersuchungen derselben beruhen (s. §§ 54 und 55).

Eine ausgesprochene zeitliche Änderung der Koeffizienten ist außer bei $\mathfrak{D}$ nirgends mit Sicherheit zu konstatieren.

## Zuverlässigkeit.

Was die Zuverlässigkeit der erhaltenen Werte betrifft, so sind konstante Fehler durch die Verwendung von dreierlei Instrumenten und von noch mehr Beobachtungsmethoden ausgeschlossen. Die Beispiele von Simonstown und St. Helena, wo gleichzeitige mehrfache Bestimmungen vorliegen, zeigen, wie die verschiedenen Methoden untereinander übereinstimmende Resultate liefern.

Die beobachteten mittleren Fehler haben nur eine relative Bedeutung; sie zeigen, inwieweit die Beobachtungen der einzelnen Kurse, dem Gesetz der Formel folgend, miteinander zusammenstimmen. Man sieht z. B. sehr schön die Unsicherheit der Erstlingsbestimmungen, oder auch die Unsicherheit des Beobachtungsverfahrens wie im Fall der $T$-, $Z$- und $i$-Bestimmungen von Kapstadt. Wesentlich für unsre Zwecke, nämlich die Korrektion der Hochseebeobachtungen, ist nicht die Sicherheit der Koeffizienten auf den Deviationsstationen, sondern diejenige zwischen den einzelnen Stationen, und in diese bekommen wir nur durch den Vergleich der von den verschiedenen Stationen stammenden Werte untereinander einen richtigen Einblick. Würden wir die Sicherheit des Gesamtmittels aus den einzelnen mittleren Fehlern bestimmen, so würden wir damit eine zu große und trügerische Genauigkeit herausrechnen. Zur Ableitung derselben müssen wir also die Abweichungen der einzelnen Werte vom Gesamtmittel benützen. Es ist schwer zu entscheiden, inwieweit diese Abweichungen auf Beobachtungsfehlern oder auf tatsächlichen Veränderungen des Schiffseisens beruhen; daß letztere wirklich wenigstens zum Teil zugrunde liegen, geht aus den Ergebnissen von Simonstown hervor.

Wenn wir nun also die schematische Gewichtsbestimmung der einzelnen Werte aus den berechneten mittleren Fehlern verwerfen, so wollen wir jedoch keineswegs alle Werte als gleichwertig behandeln. Wir geben den einzelnen Werten verschiedene Gewichte, indem wir zwar die mittleren Fehler als wertvollen Fingerzeig benützen, dazu aber noch den Gesamteindruck der eigenen Erfahrung in die Wagschale werfen, indem wir nämlich noch unser

Gefühl für das einzelne Instrument, für die Methode, unsere Erinnerung an die Begleitumstände der Bordbeobachtungen, an die Verhältnisse von Beobachter und Schiff, unsere Kenntnis der etwaigen Gestörtheit der Landbeobachtungen zur Entscheidung mit heranziehen. So habe ich viererlei Gewichte erteilt:

Gewicht 2 bei besonders guten Werten, bei Mittelwertkoeffizienten z. B. wenn sie auf eigenen, ungestörten Landbeobachtungen beruhen;

Gewicht 1 bei guten Werten;

Gewicht $^1/_2$ bei etwas unsicheren Werten (ungünstige Verhältnisse, lokale Störung);

Gewicht $^1/_4$ (in einem ganz abnormen Fall $^1/_8$) bei offenbaren Unregelmäßigkeiten.

So sehr auch einer solchen Gewichtsbestimmung etwas Willkürliches anhaftet, so wird sie doch der schematischen Gewichtsbestimmung vorzuziehen sein. Auf Grund derselben erhalten wir folgende Resultate:

**Endgültige Werte der konstanten Koeffizienten.**

| *H*-Koeffizienten | | *Z*-Koeffizienten |
|---|---|---|
| $\mathfrak{A} = +0.005_0 \pm 1.0 \times 10^{-3}$ | | $g = -0.004_6 \pm 0.95 \times 10^{-3}$ |
| $\lambda = 1.005 \pm 1.3$ | „ | $h = -0.001_0 \pm 1.1$ „ |
| $\mathfrak{D} = +0.025_5 \pm 1.2$ | „ Ausreise | |
| $= +0.021_9 \pm 0.55$ | „ Heimreise | |
| $\mathfrak{E} = -0.000_8 \pm 0.85$ | „ | |

## § 58. Die mit dem Ort veränderlichen Koeffizienten und ihre Genauigkeit.

Wir stellen nun ebenso die veränderlichen Koeffizienten $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ und $\mu$ nach den Ergebnissen des letzten Abschnitts zusammen. Die angewandten Instrumente und Methoden sind aus der Tabelle auf S. 254 zu entnehmen: für $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{C}$ gelten die Angaben bei den *H*-Koeffizienten, für $\mu$ die bei den *Z*-Koefizienten. Ebenso sind die Grundsätze der Gewichtserteilung den Ausführungen des letzten Paragraphen zu entnehmen. Beigefügt sind hier die magnetischen Elemente jedes Orts von welchen die Koeffizienten abhängen; dieselben sind größtenteils aus eigenen Beobachtungen hergeleitet; wenn nötig sind die Karten der Seewarte zu Hilfe genommen. $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{C}$ samt ihren mittleren Fehlern sind in Einheiten der dritten Dezimale angegeben; ebenso die mittleren Fehler von $\mu$.

In jedem der drei Koeffizienten stecken noch in der durch die Formeln am Kopf der Tabelle definierten Weise zwei dem Schiffseisen eigentümliche Konstanten. Dieselben sind mehrfach durch Ausgleichungsrechnung von den Herren Dr. Dinter, Kreuter, Bunzl ermittelt. $\lambda$ ist in obigen Formeln ohne weiteres $= 1$ zu setzen. Eine etwaige zeitliche Änderung unserer Schiffskonstanten im Laufe der Reise ergibt sich aus der Verteilung der Abweichungen zwischen beobachteten und berechneten Koeffizienten, insbesondere aus der Verteilung der Vorzeichen dieser Differenzen.

Durch solche Betrachtungen erweist es sich als notwendig, jedenfalls die Konstanten von $\mathfrak{B}$ als zeitlich veränderlich anzusehen und zwischen Ausreise und Heimreise zu unterscheiden;

## Zusammenstellung der mit dem Ort veränderlichen Koeffizienten.

(Beobachtung und Berechnung.)

| Ort | Datum | magnetische Elemente | | | $\mathfrak{B} \times 10^{-3} = \left(c \cdot \operatorname{tg} i + \frac{P}{H}\right)\frac{1}{\lambda}$ | | | | $\mathfrak{C} \times 10^{-3} = \left(f \cdot \operatorname{tg} i + \frac{Q}{H}\right)\frac{1}{\lambda}$ | | | | $\mu = 1 + k + \frac{R}{Z}$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | H | i | Z | beobachtet | Gew. | berechn. | B.-R. | beobachtet | Gew. | berechn. | B.-R. | beobachtet | Gew. | berechn. | B.-R. |
| **Ausreise** | **1901** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kiel | VIII. 6. | 0.178 | + 68.2° | + 0.445 | − 32 ± 8 | 1/2 | − 42 | + 10 | + 13 ± 6 | 1 | + 11 | + 2 | 0.978 ± 1 | 1/4 | 0.991 | − 13 |
| | | | | | − 38 ± 6 | 1/2 | − 42 | + 4 | + 10 ± 6 | 1 | 11 | − 1 | | | | |
| São Vicente | IX. 14. | .283 | + 38.0 | + .221 | − 25 ± 1 | 1 | − 19 | − 6 | − 3 ± 1 | 1 | + 6 | − 9 | 0.998 ± 5 | 1/4 | 0.987 | + 11 |
| Auf See | IX. 24. | .300 | + 16.0 | | − 12 ± 3 | 1 | − 13 | + 1 | + 11 ± 3 | 1 | + 4 | + 7 | | | | |
| Auf See | X. 7. | .278 | − 8.5 | | — | | | | + 5 ± 2 | 1 | + 3 | + 2 | | | | |
| Auf See | X. 24. | .234 | − 32.0 | | − 7 ± 5 | 1 | − 7 | 0 | + 13 ± 4 | 1 | + 5 | + 8 | | | | |
| Auf See | X. 30/31. | .225 | − 39.0 | | − 9 ± 4 | 1 | − 6 | − 3 | 0 ± 4 | 1 | + 5 | − 5 | | | | |
| Kapstadt | XI. 23. | .184 | − 58.9 | | 0 ± 2 | 2 | 0 | 0 | + 6 ± 2 | 1 | + 4 | + 2 | | | | |
| | | | | | − 3 ± 6 | 1 | 0 | − 1 | + 4 ± 6 | 1 | + 4 | 0 | | | | |
| | **1902** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kerguelen | I. 31. | .165 | − 70.4 | | + 31 ± 2 | 1/8 | + 9 | + 22 | − 1 ± 2 | 1 | + 4 | − 5 | | | | |
| **Heimreise** | **1903** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Packeis | II., III. | .138 | − 76.8 | − .588 | + 78 ± 4 | 1 | − 85 | − 7 | + 1 ± 4 | 1 | − 5 | + 6 | 1.001 ± 4 | 1 | 0.997 | + 4 |
| Durban | V. 31. | .184 | − 60.5 | | + 33 ± 3 | 1 | + 41 | − 8 | − 6 ± 3 | 1 | − 3 | − 3 | | | | |
| Simonstown | VI. 16. | .183 | − 59.5 | − .311 | + 39 ± 1 | 2 | + 40 | − 1 | 0 ± 1 | 2 | − 3 | + 3 | 0.996 ± 1 | 1 | 0.999 | − 3 |
| | | | | | + 41 ± 1 | 2 | 40 | + 1 | − 4 ± 1 | 2 | 3 | − 1 | | | | |
| | VIII. 2. | | | | + 43 ± 2 | 2 | 40 | + 3 | − 1 ± 2 | 2 | 3 | + 2 | 0.998 ± 2 | 1 | 0.999 | − 1 |
| St. Helena | IX. 2. | .235 | − 34.0 | − .158 | + 29 ± 1 | 1 | + 21 | + 8 | − 4 ± 1 | 1 | − 1 | − 3 | 1.010 ± 1 | 1/2 | 1.005 | + 5 |
| | | | | | + 24 ± 1 | 2 | 21 | + 3 | − 2 ± 1 | 2 | 1 | − 1 | | | | |
| São Miguel | X. 28. | .220 | + 61.5 | + .405 | − 16 ± 2 | 1 | − 18 | + 2 | − 2 ± 2 | 1 | 0 | − 2 | 0.983 ± 1 | 1/2 | 0.990 | − 7 |
| Kiel | XI. 28. | .179 | + 68.2 | + .447 | − 31 ± 0 | 1 | − 25 | − 6 | + 7 ± 0 | 1 | + 1 | + 6 | 0.992 ± 1 | 2 | 0.991 | + 1 |

ebenso wird $\mathfrak{C}$ behandelt, während für $\mu$ kein Grund dazu vorliegt. Aus den definitiven, unten angegebenen Werten der Konstanten $c, f, k$ bzw. $P, Q, R$ sind für jede Station die Koeffizienten $\mathfrak{B}, \mathfrak{C}, \mu$ berechnet und in der obigen Tabelle angegeben; die Spalte B—R gibt die Abweichung zwischen Beobachtung und Rechnung.

Weitaus den größten Betrag erreichen die von der Maschinenanlage herrührenden[1]) Konstanten $c$ und $P$ (siehe nächste Seite). Interessant ist die starke Veränderung derselben zwischen Aus- und Heimreise; in diese Zeit fällt nämlich der intensive Gebrauch der Maschine im Eis, während die Reise selbst größtenteils unter Segel von statten ging. Die Konstanten von $\mathfrak{C}$, welche von dem unsymmetrisch angeordneten Eisen herrühren, sind fast zu gering, um überhaupt sicher festgestellt werden zu können.

Die größte Unsicherheit von allen Konstanten haftet dem Wert $k$ an; derselbe rührt größtenteils vom Schornstein her[1]), dessen magnetische Eigenschaften bei dem sehr wechselnden Gebrauch der Maschine nicht sehr konstant gewesen sein dürften.

[1]) Vergleiche hierzu § 61.

**Endgültige Werte für die Konstanten der Vertikalinduktion und die Komponenten des permanentmagnetischen Schiffseisens.**

| Vertikalinduktion | | | Permanentmagnetisches Schiffseisen | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $c = -0.009_9 \pm 1.3 \times 10^{-3}$ | Ausreise | | $P = -0.003_1 \pm 0.0004$ | C. G. S. | Ausreise |
| $-0.015_8 \pm 1.1$ | „ | Heimreise | $+0.002_5 \pm 0.0004$ | „ | Heimreise |
| $f = +0.001_6 \pm 1.5$ | „ | Ausreise | $Q = +0.001_3 \pm 0.0004$ | „ | Ausreise |
| $= +0.000_8 \pm 0.7$ | „ | Heimreise | $-0.000_2 \pm 0.0002$ | „ | Heimreise |
| $k = -0.005_7 \pm 1.9$ | „ | | $R = -0.001_6 \pm 0.0006$ | „ | |

## § 59. Die Korrektionsformeln und die Anlage des Korrektionsgeschäfts.

Nunmehr können wir aus den Ergebnissen der beiden letzten Paragraphen die endgültigen Korrektionsformeln, mit welchen wir die Seebeobachtungen vom Einfluß des Schiffseisens befreien, herleiten. Wir lassen gleich diejenigen Größen außer acht, deren Betrag die eigene Fehlergrenze nicht überschreitet, also $f$, $h$ und die Werte $f$, $Q$ von der Heimreise.

Dann haben wir nach den Formeln der Deviationslehre zunächst ganz streng:

**Ausreise**

$$\text{I.}\quad \sin\delta = 10^{-3}\left\{\begin{array}{l} +5 - 9.9\,\mathrm{tg}\,i\sin\zeta' - \dfrac{3.1}{H}\sin\zeta' + 25.5\sin(2\zeta'+\delta) \\ \quad + 1.6\,\mathrm{tg}\,i\cos\zeta' + \dfrac{1.3}{H}\cos\zeta' \end{array}\right\}$$

$$\text{II.}\quad \frac{H'}{H} = 1 + 10^{-3}\left\{\begin{array}{l} +5 - 9.9\,\mathrm{tg}\,i\cos\zeta' - \dfrac{3.1}{H}\cos\zeta' + 25.5\cos(2\zeta'+\delta) \\ \quad - 1.6\,\mathrm{tg}\,i\sin\zeta' - \dfrac{1.3}{H}\sin\zeta' \end{array}\right\}$$

$$\text{III.}\quad \frac{Z'}{Z} = 1 - 10^{-3}\left\{+5.7 + 4.6\,\mathrm{ctg}\,i\cos(\zeta'+\delta) + \frac{1.6}{Z}\right\}$$

**Heimreise**

$$\text{I.}\quad \sin\delta = 10^{-3}\left\{+5 - 15.8\,\mathrm{tg}\,i\sin\zeta' + \frac{2.5}{H}\sin\zeta' + 21.9\sin(2\zeta'+\delta)\right\}$$

$$\text{II.}\quad \frac{H'}{H} = 1 + 10^{-3}\left\{+5 - 15.8\,\mathrm{tg}\,i\cos\zeta' + \frac{2.5}{H}\cos\zeta' + 21.9\cos(2\zeta'+\delta)\right\}$$

$$\text{III.}\quad \frac{Z'}{Z} \text{ wie Ausreise.}$$

Diese Formeln lassen sich noch in mehrfacher Weise vereinfachen. Einmal überzeugt man sich leicht, daß das $\delta$ auf der rechten Seite überall zu vernachlässigen ist. Man kann nämlich z. B. das erste mit $\delta$ behaftete Glied unter Vernachlässigung der kleinen Glieder höherer Ordnung in folgender Form schreiben:

$$25.5\sin 2\zeta' + 25.5\,\delta\cos 2\zeta'.$$

Setzt man nun hier statt des $\delta$ im zweiten Glied die vereinfachte Formel I ein, so ergibt sich, daß der aus diesem Zusatzglied entspringende Betrag stets innerhalb der im nächsten Paragraphen dargelegten Fehlergrenze liegt. Dies kann man in allen einzelnen Fällen zeigen, wo $\delta$ als Summand von $\zeta'$ auftritt. Ferner kann man ebenso leicht zeigen, daß in allen Fällen $\delta$ statt $\sin\delta$ zu setzen ist; der dadurch entstehende Fehler ist stets $< 0.1°$. Endlich ist es zweckmäßig, die mit $\operatorname{tg} i$ bzw. $H$ behafteten Glieder je für sich zusammenzuziehen.

Wir geben die einzelnen Bestandteile von $\delta$ in Zehntelgraden, diejenigen der $H$- und $Z$-Deviationen in Promille-Werten an und erhalten so:

**Endgültige Korrektionsformeln.**

**Ausreise**

$$\text{I}'.\quad \delta = 0.1° \left\{ 3 - 5.9 \operatorname{tg} i \sin(\zeta' - 9°) - \frac{2.0}{H} \sin(\zeta' - 23°) + 14.5 \sin 2\zeta' \right\}$$

$$\text{II}'.\quad \frac{H'}{H} = 1 + 10^{-3} \left\{ 5 - 10 \operatorname{tg} i \cos(\zeta' - 9°) - \frac{3.4}{H} \cos(\zeta' - 23°) + 25.5 \cos 2\zeta' \right\}$$

$$\text{III}'.\quad \frac{Z'}{Z} = 1 - 10^{-3} \left\{ 5.7 + 4.6 \operatorname{ctg} i \cos\zeta' - \frac{1.6}{Z} \right\}$$

**Heimreise**

$$\text{I}'.\quad \delta = 0.1° \left\{ 3 - 9 \operatorname{tg} i \sin\zeta' + \frac{1.5}{H} \sin\zeta' + 12.5 \sin 2\zeta' \right\}$$

$$\text{II}'.\quad \frac{H'}{H} = 1 + 10^{-3} \left\{ 5 - 15.8 \operatorname{tg} i \cos\zeta' + \frac{2.5}{H} \cos\zeta' + 21.9 \cos 2\zeta' \right\}$$

$$\text{III}'.\quad \frac{Z'}{Z} = \text{wie Ausreise.}$$

Um für irgend einen Ort die einem Kurs $\zeta'$ entsprechende Korrektion zu finden, braucht man nur mit ganz rohen Werten von $H$, $Z$ und $i$ in die letzten Formeln einzugehen; $H$ braucht nur auf 1000 $\gamma$, $Z$ nur auf 2000 $\gamma$ bekannt zu sein, endlich $i$ in dem Gebiet zwischen 0° und 60° höchstens auf 2°, und nur bei $i$ zwischen 70 und 80° ist die Kenntnis bis auf 1°—$^3/_4$° erforderlich. Man beachte jedoch sorgfältig das Vorzeichen von $Z$ und $i$.

Statt immer von neuem mit den Formeln zu hantieren, ist es sehr zweckmäßig, den Inhalt der Formeln in Tabellenform wiederzugeben, aus der man bequem für jeden Kurs und Ort die Korrektionen entnehmen kann. Wir geben im folgenden unsere Tabellen für die Heimreise (Nordhalbkugel) als Beispiel wieder. Wie man aus denselben die Korrektionen für $T$ und $i$ findet, ist in der Deviationslehre § 43 dargelegt.

# Tabelle zur Korrektion wegen Schiffseisens.

**δ in Zehntelgrad**

$= +3 + \text{ff.}$

Heimreise — Nordhalbkugel

| $-9 \operatorname{tg} i \sin \zeta'$ | | | | | | | | | $+\frac{1.5}{H} \sin \zeta'$ | | | | | | | $+12.5 \sin 2\zeta'$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| i / ζ' | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | i H / ζ' | 0.12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 30 | H / ζ' | |
| N 0 O | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | N 0 O | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | N 0 O | 0 |
| 10 | 0 | −1 | −1 | −1 | −2 | −3 | −4 | −9 | 10 | +2 | +2 | +1 | +1 | +1 | +1 | 10 | +4 |
| 20 | −1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | 17 | 20 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 20 | 8 |
| 30 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 13 | 26 | 30 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 30 | 11 |
| 40 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 16 | 33 | 40 | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 40 | 12 |
| 50 | 1 | 3 | 4 | 6 | 9 | 13 | 20 | 39 | 50 | 8 | 7 | 6 | 6 | 5 | 3 | 50 | 12 |
| 60 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 14 | 22 | 44 | 60 | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 | 4 | 60 | 11 |
| 70 | 2 | 3 | 5 | 7 | 11 | 15 | 24 | 48 | 70 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | 70 | 8 |
| 80 | 2 | 3 | 5 | 8 | 11 | 16 | 25 | 50 | 80 | 11 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | 80 | +4 |
| O | 2 | 3 | 5 | 8 | 11 | 16 | 26 | 51 | O | 11 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | O | 0 |
| S 80 O | 2 | 3 | 5 | 8 | 11 | 16 | 25 | 50 | S 80 O | 11 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | S 80 O | −4 |
| 70 | 2 | 3 | 5 | 7 | 11 | 15 | 24 | 48 | 70 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | 70 | 8 |
| 60 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 14 | 22 | 44 | 60 | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 | 4 | 60 | 11 |
| 50 | 1 | 3 | 4 | 6 | 9 | 13 | 20 | 39 | 50 | 8 | 7 | 6 | 6 | 5 | 3 | 50 | 12 |
| 40 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 16 | 33 | 40 | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 40 | 12 |
| 30 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 13 | 26 | 30 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 30 | 11 |
| 20 | −1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | 17 | 20 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 20 | 8 |
| 10 | 0 | −1 | −1 | −1 | −2 | −3 | −4 | −9 | 10 | +2 | +2 | +1 | +1 | +1 | +1 | 10 | −4 |
| S | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | S | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | S | 0 |
| S 10 W | 0 | +1 | +1 | +1 | +2 | +3 | +4 | +9 | S 10 W | −2 | −2 | −1 | −1 | −1 | −1 | S 10 W | +4 |
| 20 | +1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | 17 | 20 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 20 | 8 |
| 30 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 13 | 26 | 30 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 30 | 11 |
| 40 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 16 | 33 | 40 | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 40 | 12 |
| 50 | 1 | 3 | 4 | 6 | 9 | 13 | 20 | 39 | 50 | 8 | 7 | 6 | 6 | 5 | 3 | 50 | 12 |
| 60 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 14 | 22 | 44 | 60 | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 | 4 | 60 | 11 |
| 70 | 2 | 3 | 5 | 7 | 11 | 15 | 24 | 48 | 70 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | 70 | 8 |
| 80 | 2 | 3 | 5 | 8 | 11 | 16 | 25 | 50 | 80 | 11 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | 80 | +4 |
| W | 2 | 3 | 5 | 8 | 11 | 16 | 26 | 51 | W | 11 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | W | 0 |
| N 80 W | 2 | 3 | 5 | 8 | 11 | 16 | 25 | 50 | N 80 W | 11 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | N 80 W | −4 |
| 70 | 2 | 3 | 5 | 7 | 11 | 15 | 24 | 48 | 70 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | 70 | 8 |
| 60 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 14 | 22 | 44 | 60 | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 | 4 | 60 | 11 |
| 50 | 1 | 3 | 4 | 6 | 9 | 13 | 20 | 39 | 50 | 8 | 7 | 6 | 6 | 5 | 3 | 50 | 12 |
| 40 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 16 | 33 | 40 | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 40 | 12 |
| 30 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 13 | 26 | 30 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 30 | 11 |
| 20 | +1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | 17 | 20 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 20 | 8 |
| 10 | 0 | +1 | +1 | +1 | +2 | +3 | +4 | +9 | 10 | −2 | −2 | −1 | −1 | −1 | −1 | 10 | −4 |
| N | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | N | 0 |

# Tabelle zur Korrektion wegen Schiffseisens.

$$\frac{H'}{H} - 1 \text{ in Promille}$$

$$= + 5 + \text{ff.}$$

Heimreise — Nordhalbkugel

| $-15.8 \operatorname{tg} i \cos \zeta'$ | | | | | | | | | $+\frac{2.5}{H} \cos \zeta'$ | | | | | | | $+21.9 \cos 2\zeta'$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| i / ζ' | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | i / H, ζ' | 0.12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 30 | H / ζ' | |
| N 0 0 | −3 | −6 | −9 | −14 | −19 | −28 | −45 | −89 | N 0 0 | +19 | +16 | +14 | +13 | +11 | +8 | N 0 0 | +22 |
| 10 | 3 | 6 | 9 | 14 | 19 | 28 | 44 | 87 | 10 | 19 | 16 | 14 | 13 | 11 | 8 | 10 | 20 |
| 20 | 3 | 6 | 9 | 13 | 18 | 27 | 42 | 84 | 20 | 18 | 15 | 14 | 12 | 11 | 7 | 20 | 17 |
| 30 | 3 | 5 | 8 | 12 | 17 | 25 | 39 | 77 | 30 | 17 | 14 | 13 | 11 | 10 | 7 | 30 | 11 |
| 40 | 2 | 5 | 7 | 11 | 15 | 22 | 35 | 69 | 40 | 15 | 13 | 11 | 10 | 9 | 6 | 40 | +4 |
| 50 | 2 | 4 | 6 | 9 | 12 | 18 | 29 | 57 | 50 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 5 | 50 | −4 |
| 60 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 14 | 23 | 44 | 60 | 10 | 8 | 7 | 6 | 6 | 4 | 60 | 11 |
| 70 | −1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 15 | 30 | 70 | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 | 3 | 70 | 17 |
| 80 | 0 | −1 | −2 | −2 | −3 | −5 | −8 | −15 | 80 | +3 | +3 | +2 | +2 | +2 | +1 | 80 | 20 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 |
| S 80 O | 0 | +1 | +2 | +2 | +3 | +5 | +8 | +15 | S 80 O | −3 | −3 | −2 | −2 | −2 | −1 | S 80 O | 20 |
| 70 | +1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 15 | 30 | 70 | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 | 3 | 70 | 17 |
| 60 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 14 | 23 | 44 | 60 | 10 | 8 | 7 | 6 | 6 | 4 | 60 | 11 |
| 50 | 2 | 4 | 6 | 9 | 12 | 18 | 29 | 57 | 50 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 5 | 50 | −4 |
| 40 | 2 | 5 | 7 | 11 | 15 | 22 | 35 | 69 | 40 | 15 | 13 | 11 | 10 | 9 | 6 | 40 | +4 |
| 30 | 3 | 5 | 8 | 12 | 17 | 25 | 39 | 77 | 30 | 17 | 14 | 13 | 11 | 10 | 7 | 30 | 11 |
| 20 | 3 | 6 | 9 | 13 | 18 | 27 | 42 | 84 | 20 | 18 | 15 | 14 | 12 | 11 | 7 | 20 | 17 |
| 10 | 3 | 6 | 9 | 14 | 19 | 28 | 44 | 87 | 10 | 19 | 16 | 14 | 13 | 11 | 8 | 10 | 20 |
| S | 3 | 6 | 9 | 14 | 19 | 28 | 45 | 89 | S | 19 | 16 | 14 | 13 | 11 | 8 | S | 22 |
| S 10 W | 3 | 6 | 9 | 14 | 19 | 28 | 44 | 87 | S 10 W | 19 | 16 | 14 | 13 | 11 | 8 | S 10 W | 20 |
| 20 | 3 | 6 | 9 | 13 | 18 | 27 | 42 | 84 | 20 | 18 | 15 | 14 | 12 | 11 | 7 | 20 | 17 |
| 30 | 3 | 5 | 8 | 12 | 17 | 25 | 39 | 77 | 30 | 17 | 14 | 13 | 11 | 10 | 7 | 30 | 11 |
| 40 | 2 | 5 | 7 | 11 | 15 | 22 | 35 | 69 | 40 | 15 | 13 | 11 | 10 | 9 | 6 | 40 | +4 |
| 50 | 2 | 4 | 6 | 9 | 12 | 18 | 29 | 57 | 50 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 5 | 50 | −4 |
| 60 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 14 | 23 | 44 | 60 | 10 | 8 | 7 | 6 | 6 | 4 | 60 | 11 |
| 70 | +1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 15 | 30 | 70 | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 | 3 | 70 | 17 |
| 80 | 0 | +1 | +2 | +2 | +3 | +5 | +8 | +15 | 80 | −3 | −3 | −2 | −2 | −2 | −1 | 80 | 20 |
| W | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | W | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | W | 22 |
| N 80 W | 0 | −1 | −2 | −2 | −3 | −5 | −8 | −15 | N 80 W | +3 | +3 | +2 | +2 | +2 | +1 | N 80 W | 20 |
| 70 | −1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 15 | 30 | 70 | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 | 3 | 70 | 17 |
| 60 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 14 | 23 | 44 | 60 | 10 | 8 | 7 | 6 | 6 | 4 | 60 | 11 |
| 50 | 2 | 4 | 6 | 9 | 12 | 18 | 29 | 57 | 50 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 5 | 50 | −4 |
| 40 | 2 | 5 | 7 | 11 | 15 | 22 | 35 | 69 | 40 | 15 | 13 | 11 | 10 | 9 | 6 | 40 | +4 |
| 30 | 3 | 5 | 8 | 12 | 17 | 25 | 39 | 77 | 30 | 17 | 14 | 13 | 11 | 10 | 7 | 30 | 11 |
| 20 | 3 | 6 | 9 | 13 | 18 | 27 | 42 | 84 | 20 | 18 | 15 | 14 | 12 | 11 | 7 | 20 | 17 |
| 10 | 3 | 6 | 9 | 14 | 19 | 28 | 44 | 87 | 10 | 19 | 16 | 14 | 13 | 11 | 8 | 10 | 20 |
| N | −3 | −6 | −9 | −14 | −19 | −28 | −45 | −89 | N | +19 | +16 | +14 | +13 | +11 | +8 | N | +22 |

# Tabelle zur Korrektion wegen Schiffseisens.

$$\frac{Z'}{Z} - 1 \text{ in Promille}$$

Aus- und Heimreise. $= + 6 +$ ff. Nordhalbkugel

$- 4.6 \operatorname{ctg} i \cos \zeta'$

| i / ζ' | 1° | 2° | 4° | 6° | 8° | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | i / ζ' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N 0 0 | — 264 | — 132 | — 66 | — 44 | — 33 | — 26 | — 13 | — 8 | — 6 | — 4 | — 3 | — 2 | N 0 0 |
| 10 | 259 | 129 | 65 | 43 | 32 | 25 | 13 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | 10 |
| 20 | 248 | 124 | 62 | 41 | 31 | 24 | 12 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | 20 |
| 30 | 230 | 115 | 57 | 38 | 29 | 23 | 11 | 7 | 5 | 4 | 3 | 2 | 30 |
| 40 | 203 | 102 | 51 | 34 | 25 | 20 | 10 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 40 |
| 50 | 169 | 84 | 42 | 28 | 21 | 17 | 8 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 50 |
| 60 | 132 | 66 | 33 | 22 | 17 | 13 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 60 |
| 70 | 90 | 45 | 22 | 15 | 11 | 9 | 4 | 3 | 2 | 1 | — 1 | — 1 | 70 |
| 80 | — 45 | — 22 | — 11 | — 7 | — 6 | — 4 | — 2 | — 1 | — 1 | — 1 | 0 | 0 | 80 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S 80 0 | + 45 | + 22 | + 11 | + 7 | + 6 | + 4 | + 2 | + 1 | + 1 | + 1 | 0 | 0 | S 80 0 |
| 70 | 90 | 45 | 22 | 15 | 11 | 9 | 4 | 3 | 2 | 1 | + 1 | + 1 | 70 |
| 60 | 132 | 66 | 33 | 22 | 17 | 13 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 60 |
| 50 | 169 | 84 | 42 | 28 | 21 | 17 | 8 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 50 |
| 40 | 203 | 102 | 51 | 34 | 25 | 20 | 10 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 40 |
| 30 | 230 | 115 | 57 | 38 | 29 | 23 | 11 | 7 | 5 | 4 | 3 | 2 | 30 |
| 20 | 248 | 124 | 62 | 41 | 31 | 24 | 12 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | 20 |
| 10 | 259 | 129 | 65 | 43 | 32 | 25 | 13 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | 10 |
| S | 264 | 132 | 66 | 44 | 33 | 26 | 13 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | S |
| S 10 W | 259 | 129 | 65 | 43 | 32 | 25 | 13 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | S 10 W |
| 20 | 248 | 124 | 62 | 41 | 31 | 24 | 12 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | 20 |
| 30 | 230 | 115 | 57 | 38 | 29 | 23 | 11 | 7 | 5 | 4 | 3 | 2 | 30 |
| 40 | 203 | 102 | 51 | 34 | 25 | 20 | 10 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 40 |
| 50 | 169 | 84 | 42 | 28 | 21 | 17 | 8 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 50 |
| 60 | 132 | 66 | 33 | 22 | 17 | 13 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 60 |
| 70 | 90 | 45 | 22 | 15 | 11 | 9 | 4 | 3 | 2 | 1 | + 1 | + 1 | 70 |
| 80 | + 45 | + 22 | + 11 | + 7 | + 6 | + 4 | + 2 | + 1 | + 1 | + 1 | 0 | 0 | 80 |
| W | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | W |
| N 80 W | — 45 | — 22 | — 11 | — 7 | — 6 | — 4 | — 2 | — 1 | — 1 | — 1 | 0 | 0 | N 80 W |
| 70 | 90 | 45 | 22 | 15 | 11 | 9 | 4 | 3 | 2 | 1 | — 1 | — 1 | 70 |
| 60 | 132 | 66 | 33 | 22 | 17 | 13 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 60 |
| 50 | 169 | 84 | 42 | 28 | 21 | 17 | 8 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 50 |
| 40 | 203 | 102 | 51 | 34 | 25 | 20 | 10 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 40 |
| 30 | 230 | 115 | 57 | 38 | 29 | 23 | 11 | 7 | 5 | 4 | 3 | 2 | 30 |
| 20 | 248 | 124 | 62 | 41 | 31 | 24 | 12 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | 20 |
| 10 | 259 | 129 | 65 | 43 | 32 | 25 | 13 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | 10 |
| N | — 264 | — 132 | — 66 | — 44 | — 33 | — 26 | — 13 | — 8 | — 6 | — 4 | — 3 | — 2 | N |

$- \frac{1.6}{Z}$

| Z | |
|---|---|
| 0.01 | — 160 |
| 02 | 80 |
| 03 | 53 |
| 04 | 40 |
| 05 | 32 |
| 06 | 27 |
| 07 | 23 |
| 08 | 20 |
| 09 | 18 |
| 10 | 16 |
| 20 | 8 |
| 30 | 5 |
| 40 | 4 |
| 50 | 3 |
| 60 | 3 |
| 0.70 | — 2 |

## § 60. Untersuchung der Genauigkeit unserer Korrektionen wegen Schiffseisens.

Wir haben in §§ 57 und 58 alle 12 Konstanten des Schiffseisens samt ihren mittleren Fehlern abgeleitet. Wie wir sahen, ist diese Ungenauigkeit der Schiffskonstanten zweierlei ganz verschiedenen Ursprungs; außer von den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern rührt sie zum großen Teil von jenen unkontrollierbaren Schwankungen in den magnetischen Eigenschaften des Schiffseisens her, von denen wir mehrere Beispiele angeführt haben.

Es entsteht daher die Frage, inwieweit wir überhaupt imstande sind, durch die Korrektionsformeln des letzten Paragraphen den leidigen Einfluß des Schiffseisens aus der Welt zu schaffen. Wir gehen auf die Grundformeln zurück und leiten für jede Deviationsformel ihren mittleren Fehler ab. Wir erhalten nach bekannten Grundsätzen die Quadrate der mittleren Fehler wie folgt:

$$M^2\ (\delta) = \Delta\mathfrak{A}^2 + (\operatorname{tg} i \sin\zeta')^2\,\Delta c^2 + \sin^2\zeta'\left(\frac{\Delta P}{H}\right)^2 + \sin^2 2\zeta'\,\Delta\mathfrak{D}^2$$
$$+ (\operatorname{tg} i \cos\zeta')^2\,\Delta f^2 + \cos^2\zeta'\left(\frac{\Delta Q}{H}\right)^2 + \cos^2 2\zeta'\,\Delta\mathfrak{E}^2$$
$$M^2\left(\frac{H'}{H}\right) = \Delta\lambda^2 + (\operatorname{tg} i \cos\zeta')^2\,\Delta c^2 + \cos^2\zeta'\left(\frac{\Delta P}{H}\right)^2 + \cos^2 2\zeta'\,\Delta\mathfrak{D}^2$$
$$+ (\operatorname{tg} i \sin\zeta')^2\,\Delta f^2 + \sin^2\zeta'\left(\frac{\Delta Q}{H}\right)^2 + \sin^2 2\zeta'\,\Delta\mathfrak{E}^2$$
$$M^2\left(\frac{Z'}{Z}\right) = \Delta k^2 + (\operatorname{ctg} i \cos\zeta')^2\,\Delta g^2 + \left(\frac{\Delta R}{Z}\right)^2$$
$$(\operatorname{ctg} i \sin\zeta')^2\,\Delta h^2$$

Wir können diese Formeln wesentlich vereinfachen, wenn wir die Genauigkeit der gleichartigen Koeffizienten als gleich annehmen, was ja nahezu der Fall ist; wir setzen $\Delta c = \Delta f = \Delta v$, ebenso $\Delta P = \Delta Q = \Delta h$ und $\Delta\mathfrak{D} = \Delta\mathfrak{E} = \Delta q$, endlich $\Delta g = \Delta h = \Delta u$, und erhalten folgende, vom Kurs ganz unabhängige Beziehungen:

$$M^2\ (\delta) = \Delta\mathfrak{A}^2 + \operatorname{tg}^2 i\,\Delta v^2 + \left(\frac{\Delta h}{H}\right)^2 + \Delta q^2$$
$$M^2\left(\frac{H'}{H}\right) = \Delta\lambda^2 + \operatorname{tg}^2 i\,\Delta v^2 + \left(\frac{\Delta h}{H}\right)^2 + \Delta q^2$$
$$M^2\left(\frac{Z'}{Z}\right) = \Delta k^2 + \operatorname{ctg}^2 i\,\Delta u^2 + \left(\frac{\Delta R}{Z}\right)^2$$

Den Ergebnissen der §§ 57 und 58 entnehmen wir die folgenden numerischen Werte:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta\mathfrak{A} = 1.0$ | Promille | $\Delta v = 0.9$ | Promille | $\Delta h = 30\,\gamma$ | |
| $\Delta\lambda = 1.3$ | „ | $\Delta u = 1.0$ | „ | $\Delta R = 60\,\gamma$ | |
| $\Delta k = 1.9$ | „ | $\Delta q = 0.7$ | „ | | |

Die Unsicherheit der Korrektionen ist je nach dem Wert der magnetischen Elemente von Ort zu Ort verschieden. Wir wollen den Ort durch seine Inklination charakterisieren, und setzen zu jeder Inklination in den Formeln diejenigen Werte von $H$ und $Z$ ein, wie sie im

Atlantischen und Indischen Ozean in einer für den vorliegenden Zweck genügenden Annäherung zusammengehören. Wir geben das Resultat der Untersuchung in Tabellenform wieder, unter Hinzufügung der Unsicherheit in $i$ und $T$, wie sie nach den Formeln 38 leicht abzuleiten ist. $\delta$ und $i$ sind in Zehntelgraden, $H$, $Z$ und $T$ sowohl in Promille-Werten, als auch in absoluten Werten angegeben. So erhalten wir das Resultat:

Die durch die veränderlichen Eigenschaften des Schiffseisens und durch Beobachtungsfehler verursachte Ungenauigkeit der Schiffskonstanten macht unsere Bestimmungen der magnetischen Elemente auf See um folgende, mit dem Ort etwas wechselnde Beträge unsicher[1]):

| Inklination | $\Delta\delta$ | $\Delta i$ | $\Delta H$ | | $\Delta Z$ | | $\Delta T$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Prom. | $\gamma$ | Prom. | $\gamma$ | Prom. | $\gamma$ |
| 10° | 0.1° | 0.15° | 1.8 | 50 | 14 | 65 | 1.8 | 50 |
| 20 | 0.1 | 0.15 | 1.9 | 50 | 7 | 70 | 1.8 | 50 |
| 40 | 0.1 | 0.1 | 2.1 | 50 | 3.5 | 70 | 1.5 | 50 |
| 50 | 0.1 | 0.1 | 2.3 | 50 | 3.0 | 80 | 1.4 | 50 |
| 60 | 0.15 | 0.1 | 2.5 | 50 | 2.5 | 90 | 1.3 | 55 |
| 70 | 0.2 | 0.1 | 3.3 | 60 | 2.3 | 110 | 1.3 | 65 |
| 80 | 0.35 | 0.05 | 5.8 | 70 | 2.1 | 140 | 1.3 | 90 |

Wenn man diese Ungenauigkeit der Korrektion vergleicht mit der Ungenauigkeit der Beobachtung, wie sie aus den Schwierigkeiten der Bordverhältnisse entspringt, so wird man sehen, daß die Ungenauigkeit der Korrektion in vielen Fällen größer ist, als diejenige der Beobachtung, und es ist in hohem Maße zu bedauern, daß das Schiffseisen die erfolgreiche Überwindung der Bordschwierigkeiten wieder illusorisch macht.

## § 61. Ort und Wirkungsgrad der schädlichen Eisenmassen an Bord des „Gauss".

Wir wollen noch mit ein paar Worten auf den mutmaßlichen Sitz des störenden Schiffseisens eingehen in der Absicht, mit den folgenden Zahlenangaben Material für die Beurteilung anderer, vielleicht künftiger Anlagen zu liefern.

Wir stellen zunächst die zwölf Schiffskonstanten aus §§ 56 und 57 zusammen, indem wir auf die Definition von $\mathfrak{A}$, $\lambda$, $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{E}$ durch die Formeln 31 verweisen.

**Die zwölf Schiffskonstanten** ($10^{-3}$-Einheiten bzw. $\gamma$).

| | | | |
|---|---|---|---|
| $a = +28$ | $d = +4$ | $g = -5$ | $P = -310\,\gamma$ Ausreise |
| | | | $+250\,\gamma$ Heimreise |
| $b = -6$ | $e = -18$ | $h = -1$ | $Q = +130\,\gamma$ Ausreise |
| | | | $-20\,\gamma$ Heimreise |
| $c = -10$ Ausreise | $f = +1$ | $k = -6$ | $R = -160\,\gamma$ |
| $-16$ Heimreise | | | |

1) Wie in § 63 gezeigt wird, ist dieselbe Unsicherheit bei den bisherigen Expeditionen noch 2—3 mal größer.

Man kann bekanntlich den Einfluß der neun Konstanten $a \cdot\cdot k$ durch verschiedene, in bestimmter Weise zum Beobachtungsort angeordnete, weiche Eisenstäbe repräsentieren; Tafel I des „Admiralty Manual“ gibt dieselben in anschaulicher Weise wieder. Wie die obige kleine Tabelle zeigt, sind unsere hauptsächlichsten Konstanten ($a$, $c$, $e$, $g$, $k$) diejenigen, welche vom symmetrisch zum Längsschnitt angeordneten Schiffseisen herrühren; und sieht man sie noch auf ihr Vorzeichen an, so weisen sie alle auf die Maschinenanlage des „Gauss“ als ihren Ursprungsort hin. Vgl. zu den folgenden Ausführungen Tafel IV, Längsschnitt des Schiffes und Grundriß des Oberdecks.

Wir geben graphisch die Lage der äquivalenten weichen Eisenstäbe zu unsrem Beobachtungsplatz „B“ an, indem wir die Größe der Konstanten durch die Länge der Stäbe andeuten, und versuchen sie dann mit der Anlage des „Gauss“ zu identifizieren.

$+a$ entspricht einem hinter B endigenden Stab, $-e$ einem quer durchlaufenden Stab. Die Maschinenanlage endigt etwa 8 m hinter B mit der Deckswinde (No. 19 der Tafel) als vorderstem Ausläufer und erstreckt sich von da in einer Ausdehnung von ca. 20 m nach hinten bis zur Schraube; daher kommt unser $+a$. Im eigentlichen Maschinenraum finden sich verschiedene, quer durchlaufende Teile von etwa 10 m Breite, z. B. das wasserdichte Schott (Entfernung 10 m), das Maschinendeck etc., und diese verursachen unser $-e$.

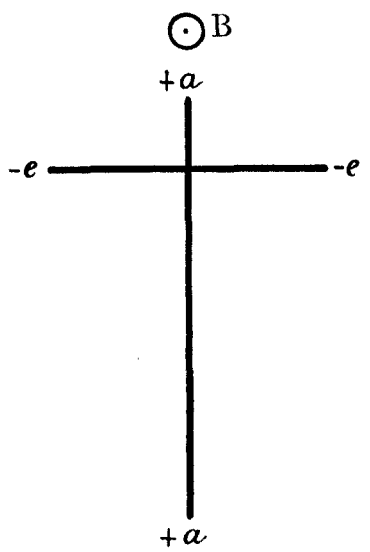


Abb. 9.

$-c$ entspricht dem hinter B endigenden und nach unten sich erstreckenden Stab, weist also ebenfalls unzweideutig auf die hinter dem Schlingertisch gelegene und nach unten sich erstreckende Maschinenanlage hin, mit den vertikalen Massen von Schott, Kessel, zwei großen Ventilatoren usf.

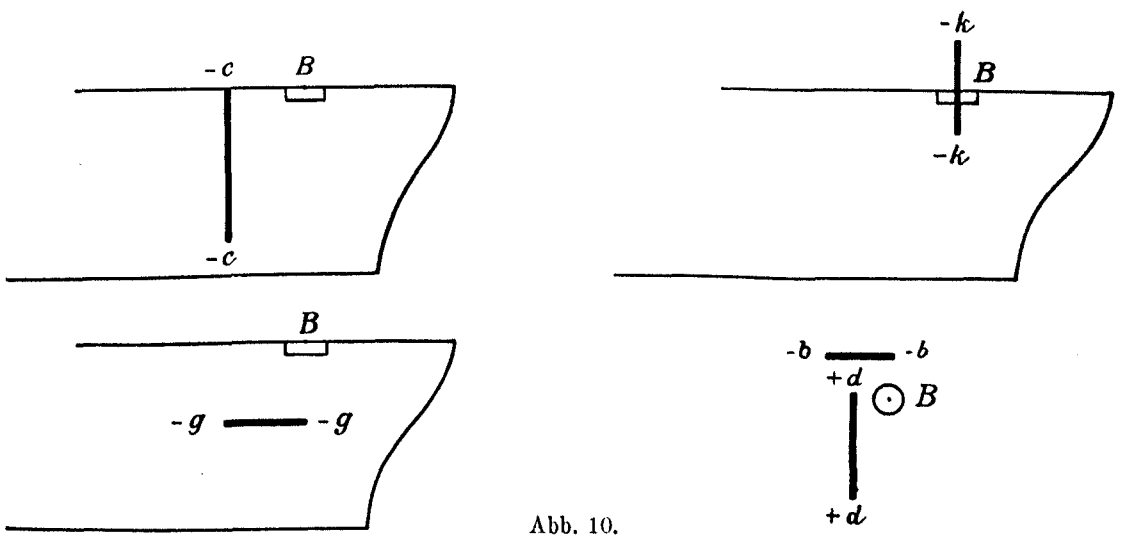


Abb. 10.

$-k$ entspricht dem durchgehenden, über und unter B endigenden Stab und weist fraglos auf den Schornstein hin, der 10 m hinter dem Schlingertisch emporstieg. Interessant ist die

mit dieser Annahme übereinstimmende Tatsache, daß die Unsicherheit von $k$ am größten ist; es ist einleuchtend, daß beim Schornstein, der bald wochenlang, während der „Gauss“ segelte, außer Gebrauch war und dazwischen immer wieder während des Dampfens erhitzt wurde, der außerdem noch dabei den größten Veränderungen der induzierenden Kraft $Z$ ausgesetzt war, die magnetischen Eigenschaften auch die relativ größte Veränderlichkeit aufweisen werden.

— $g$ endlich entspricht dem unter B endigenden, nach hinten verlaufenden Stab und ist wohl durch die am weitesten nach vorne laufenden Teile der Maschinenanlage, durch die etwa 8 m hinter und unter dem Schlingertisch endigenden Rohrleitungen, in erster Linie verursacht.

Der Einfluß der unsymmetrisch angeordneten Eisenmassen ($b, d, f$) ist nur gering:

— $b$ entspricht dem vor B endigenden, nach Backbord sich erstreckenden Stab und weist auf den an Backbord auf Höhe des Fockmastes angebrachten Fischbügel hin, der durch eine schwere, vom Fockmast auslaufende Stange gehalten wurde (10 m vor dem Schlingertisch).

+ $d$ entspricht dem neben B auf Backbord endigenden, nach hinten sich erstreckenden Stab und ist wohl durch die Stones-Pumpe (No. 18 auf Tafel IV) mit Lenzrohrleitung verursacht, welche in nur 6 m Entfernung etwas hinter dem Schlingertisch auf Backbordseite endigte.

$f$ ist ganz unbedeutend und unsicher.

Was endlich die permanent magnetischen Teile des Schiffseisens betrifft, so ist ihr Ursprung ohne Zweifel wiederum in der Maschinenanlage zu suchen. Den größten Betrag, zugleich die größte Veränderung weist $P$ auf; in der Tat fällt die Hauptausdehnung der Maschine in die Längsrichtung des Schiffes. Interessant ist der Unterschied von $P$ zwischen Aus- und Heimreise, der wohl mit dem Gebrauch der Maschine zusammenhängt: während die Aus- und Heimreise auf hoher See fast ausschließlich unter Segel vonstatten ging, fällt dazwischen eine mehrmonatliche, ununterbrochene Verwendung der Dampfkraft während unserer Drift und Fahrt im Packeis nach Westen. In dieser Zeit mag sich im wesentlichen die Umwandlung von $P$ vollzogen haben: durch die Erhitzung der Maschinenräume mag sich der vorhandene, mit dem Nordende nach hinten weisende Magnetismus verloren haben, um einer neuen Magnetisierung Platz zu machen, welche unter dem Einfluß der von Backbord hinten eintretenden Kraftlinien auf unserer Westreise entstanden sein dürfte. Auch die Umwandlung von $Q$ stimmt völlig mit dieser Annahme.

$R$ ist wiederum am unsichersten bestimmt, was zweifellos mit den schon bei der Konstanten $k$ erörterten Umständen zusammenhängt.

## § 62. Über den Einfluss der Schiffsneigung auf unsere Deviationen.

Um den Einfluß der Schiffsneigung auf das störende Feld des Schiffseisens abzuschätzen, gehen wir zurück auf die Formeln der Deviationslehre. Unter Verwendung der in § 61 mitgeteilten Zahlwerte der zwölf Schiffskonstanten erhalten wir nach den Formeln von § 44 für eine Neigung von $\pm \nu$ (in Bogenmaß) folgende Änderung der zwölf Konstanten in $10^{-3}$-Einheiten bzw. $\gamma$ (+ entspricht der Neigung nach Steuerbord, — nach Backbord):

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\Delta_\nu a = 0$ | $\Delta_\nu d = \pm 5\nu$ | $\Delta_\nu g = \pm 4\nu$ | $\Delta_\nu P = 0$ in $\gamma$ |
| $\Delta_\nu b = \pm 16\nu$ | $\Delta_\nu e = + 12\nu^2$ | $\Delta_\nu h = \mp 12\nu$ | $\Delta_\nu Q = + 160\nu$ „ |
| $\Delta_\nu c = \mp 6\nu$ | $\Delta_\nu f = \mp 12\nu$ | $\Delta_\nu k = - 12\nu^2$ | $\Delta_\nu R = - 20\nu$ „ |

Bei jeder Beobachtungsreihe auf See wurde die mittlere Neigung des Schiffes festgestellt; es ergab sich, daß dieses $\nu$ 6° selten erreichte und nur in Ausnahmefällen überschritt; die beobachteten $\nu$ sind später alle mitgeteilt. Wir brauchen nun die durch $\nu$ verursachte Änderung unserer Korrektionen natürlich erst von dem Betrag an zu berücksichtigen, welcher die in §§ 57 und 58 mitgeteilten Werte übersteigt, bis zu welchem die einzelnen Konstanten überhaupt bekannt sind. Man überzeugt sich leicht, daß bis zu $\nu = 9°$, dem beobachteten Maximalwert, alle nicht mit $i$ behafteten Glieder zu vernachlässigen sind, ohne daß die drei Hauptdeviationen bis zu den in der Übersichtstabelle § 60 mitgeteilten Werten beeinflußt würden.

Die einzigen Änderungen, die wir unter Umständen zu beobachten haben, sind die folgenden: Bei einer Neigung des Schiffes von $\pm\nu°$ (Bogenmaß) ändern sich die Korrektionsformeln um folgende Beträge in $10^{-3}$-Einheiten:

$$\Delta_\nu \delta = \mp 6\nu \operatorname{tg} i \sin \zeta' \mp 12\nu \operatorname{tg} i \cos \zeta'$$

$$\Delta_\nu \frac{H'}{H} = \mp 6\nu \operatorname{tg} i \cos \zeta' \pm 12\nu \operatorname{tg} i \sin \zeta'$$

$$\Delta_\nu \frac{Z'}{Z} = \pm 4\nu \operatorname{ctg} i \cos \zeta' \pm 12\nu \operatorname{ctg} i \sin \zeta'$$

Die beiden Formeln des horizontalen Felds kommen nur bei hohen, die $Z$-Formel nur bei niedrigen Inklinationen in Betracht, und da in beiden Fällen nach § 60 $H$ bzw. $Z$ überhaupt nur auf höchstens drei Promille zu ermitteln ist, können wir sagen, daß die Neigung des Schiffes erst dann zu beachten ist, wenn die Ausdrücke $13{,}4\nu \operatorname{tg} i$ und $13{,}4\nu \operatorname{ctg} i = 3$ werden, also bei

$H$-Werten in hohen Breiten, wenn $4{,}5\nu \operatorname{tg} i = 1$
$Z$-Werten in niedrigen „ „ $4{,}5\nu \operatorname{ctg} i = 1$

erreicht und übersteigt. Dann ist obigen Formeln die Verbesserung der Korrektionen wegen Schiffsneigung zu entnehmen.

## § 63. Vergleich unserer Schiffskonstanten und ihrer Genauigkeit mit denjenigen früherer Expeditionen.

Wir wollen uns noch ein Urteil bilden, inwieweit die Gauss-Beobachtungen im Vergleich mit denjenigen der letzten großen magnetischen Unternehmungen zur See vom Schiffseisen beeinflußt sind, und inwieweit es uns im Vergleich mit andern gelungen ist, die mühevollen Schwierigkeiten des Schiffseisens zu überwinden. Zu dem Zweck stellen wir unsere zwölf Konstanten mit denjenigen der deutschen Gazelle-Expedition und der englischen Challenger-Expedition zusammen. Siehe dazu „Die Forschungsreise S. M. S. Gazelle“ 1874—76, herausgegeben von dem Hydrographischen Amt der Admiralität, Berlin 1888, II. Teil Physik und

Chemie, und „Report on the Scientific Results of the Exploring Voyage of H. M. S. Challenger 1873—76“, Narrative Vol II., 1882.

Wo nötig, übertragen wir die dortigen Bezeichnungen in die unsrigen und geben die Größen $P\,Q\,R$ in absolutem Maß an; desgleichen leiten wir nach den in den §§ 57 und 58 entwickelten Grundsätzen die mittleren Fehler der fremden Konstanten ab, wo dieselben nicht schon berechnet sind. Die Challenger-Angaben gelten für die unserem Schlingertisch entsprechende „Fox-Position“.

**Die Schiffskonstanten und ihre mittleren Fehler vom „Gauss“, der „Gazelle“ und vom „Challenger“**

in $10^{-3}$-Einheiten, bzw. $\gamma$.

| | Gauss | Gazelle | Challenger |
|---|---|---|---|
| $\mathfrak{A}$ | $+5 \pm 1.0$ | $+7 \pm 6.1$ | $+2 \pm 0.6$ |
| $\mathfrak{E}$ | $-1 \pm 0.85$ | $-2 \pm 1.5$ | $-1 \pm 0.6$ |
| $\lambda-1$ | $+5 \pm 1.3$ | $-20 \pm 2.5$ | $-3 \pm 2.3$ |
| $\mathfrak{D}$ | $+23 \pm 0.6$ | $+11 \pm 1.2$ | $+6 \pm 0.7$ |
| $g$ | $-5 \pm 0.95$ | $+13 \pm 2.2$ | $+1 \pm 3.6$ |
| $h$ | $-1 \pm 1.1$ | $+8 \pm 1.6$ | $= 0$ angenommen |
| $c$ | $-13 \pm 1.1$ | $+18 \pm 2.2$ | $+8 \pm 1.3$ |
| $f$ | $+1 \pm 0.7$ | $-4 \pm 2.0$ | $= 0$ angenommen |
| $k$ | $-6 \pm 1.9$ | $-21 \pm 3.3$ | $-37 \pm 3.9$ |
| $P$ | $+250\gamma \pm 40\gamma$ | $+870\gamma \pm 90\gamma$ | $+1300\gamma \pm 70\gamma$ |
| $Q$ | $-20\gamma \pm 20\gamma$ | $-300\gamma \pm 75\gamma$ | $-100\gamma \pm 10\gamma$ |
| $R$ | $-160\gamma \pm 60\gamma$ | $-400\gamma \pm 270\gamma$ | $-4000\gamma \pm 260\gamma$ |
| Reisedauer | 28 Monate | 21 Monate | 42 Monate |
| Zahl der Deviat.-Stat. | 14 Stationen | 6 Stationen | 20—25 Stationen |
| 1 Station fällt auf eine Reisedauer von | 2 Monaten | 3.5 Monaten | ca. 2 Monaten |

Man kann aus dieser Liste gewisse gesetzmäßige Verhältnisse ablesen. Bei allen drei Schiffen finden wir genau dieselben Größen am unsichersten definiert, nämlich

$\lambda$, das Maß für die mittlere horizontale } Komponente des
$k$, „ vertikale } störenden Vektors,
$R$, die vertikale Komponente des permanenten Magnetismus.

Wir sehen dabei ab von dem ausnahmsweise großen Fehler von $\mathfrak{A}$ der „Gazelle“, welcher von einem offenbar irrtümlichen Einzelwert herrührt.

Es ist nach der Natur der Konstanten $\lambda$, $k$ und $R$ einleuchtend, daß gerade sie unter den immer etwas veränderlichen und unkontrollierbaren magnetischen Eigenschaften des Schiffseisens zu leiden haben, zumal $k$ und $R$, welche bei den Weltreisen durch alle möglichen Breiten der ganz besonders stark wechselnden Vertikalkomponente des erdmagnetischen Felds ausgesetzt sind; die Grenze zwischen temporärem und permanentem Magnetismus wird keine scharfe sein.

Wir wollen uns noch ein Maß für eine übersichtliche Abschätzung der störenden Kraft des Schiffseisens im Verhältnis zu dem Erdfeld verschaffen. Jede der Konstanten $a \ldots k$ stellt

ein Verhältnis zwischen einer gewissen Komponente des störenden Vektors zu der entsprechenden Komponente der erdmagnetischen Kraft dar; um auch die absoluten Größen $P$, $Q$, $R$ auf gleiche Benennung zu bringen, dividieren wir $P$, $Q$ durch das mittlere von unsern Weltreisen berührte $H$, das wir zu 20000 $\gamma$, ebenso $R$ durch das mittlere $Z$, das wir zu 35000 $\gamma$ annehmen. In diesem Maß erhalten wir für die Komponenten des störenden, von permanentem Magnetismus herrührenden Schiffsvektors folgende beträchtliche Größen in $10^{-3}$-Einheiten ohne Rücksicht aufs Vorzeichen:

| | Gauss | Gazelle | Challenger |
|---|---|---|---|
| $P$ | 13 | 43 | 65 |
| $Q$ | 2 | 15 | 5 |
| $R$ | 5 | 12 | 115 |

Nunmehr bilden wir das Mittel der zwölf auf diese Weise homogen gemachten Konstanten, genommen ihrem absoluten Betrag nach, und erhalten so das Resultat:

Der mittlere störende Vektor an Bord obiger drei Schiffe erreicht im Verhältnis zum mittleren Erdfeld folgende Beträge:

| | | |
|---|---|---|
| Gauss | 6 | Promille |
| Gazelle | 14 | „ |
| Challenger | 20 | „ |

### Vergleich der Genauigkeit der Deviationen.

Wenn wir uns noch ein Urteil über die Ungenauigkeit verschaffen wollen, welche den von den drei Expeditionen gelieferten $H$- und $Z$-Werten lediglich infolge der unvollkommenen Kenntnis des Schiffseisens anhaftet, gehen wir aus von den Formeln des § 60, wo das Quadrat der mittleren Fehler von $(H' : H)$ und $(Z' : Z)$ abgeleitet ist. Den dortigen Bezeichnungen uns anschließend erhalten wir folgende Übersicht über die mittleren Fehler in $10^{-3}$-Einheiten:

Mittlere Fehler

der $H$-Koeffizienten

| | Gauss | Gazelle | Challenger |
|---|---|---|---|
| $\Delta\lambda$ | 1.3 | 2.5 | 2.3 |
| $\Delta v$ | 0.9 | 2.1 | 1.3 |
| $\Delta q$ | 0.7 | 1.3 | 0.7 |
| $\frac{\Delta h}{H_m}$ | 1.5 | 4.4 | 3.5 |

der $Z$-Koeffizienten

| | Gauss | Gazelle | Challenger |
|---|---|---|---|
| $\Delta k$ | 1.9 | 3.3 | 3.9 |
| $\Delta \mu$ | 1.0 | 1.9 | 3.6 |
| $\frac{\Delta R}{Z_m}$ | 1.7 | 7.7 | 7.4 |

Mit Hilfe der ausführlichen Tabelle von § 60 können wir übersehen, mit welcher Unsicherheit die einzelnen erdmagnetischen Elemente bei den verschiedenen Expeditionen je nach ihrem Ort lediglich infolge ungenügend eliminierten Schiffseisens behaftet sind. Mit Ausnahme von $\lambda$ entscheiden die obigen $H$-Koeffizienten auch über die Sicherheit von $D$; wenn wir den geringen Unterschied von $\Delta\lambda$ und $\Delta\mathfrak{A}$ vernachlässigen, können wir die aus der Unsicherheit der $H$-Koeffizienten resultierende Unsicherheit in $H$ direkt auch als solche in $D$ auffassen, wobei $\Delta D$ in Bogenmaß zu verstehen ist. Wenn wir das Gesamtresultat in der Weise von § 60 in

ein Durchschnittsbild zusammenfassen, so ergiebt sich, daß trotz der gewaltigen Anstrengungen zur Elimination des Schiffseinflusses die *H*- (bzw. *D*-) und *Z*-Beobachtungen der drei letzten großen Expeditionen allein infolge des Schiffseisens im Durchschnitt mit folgenden mittleren Fehlern behaftet sind:

**Unsicherheit der magnetischen Elemente infolge ungenügender Elimination des Schiffseinflusses.**

| Expedition | *H (D)* | | *Z* | |
|---|---|---|---|---|
| | Promille | γ | Promille | γ |
| **Gauss** | 2 | 50 | 3 | 90 |
| **Gazelle** | 4½ | 110 | 8½ | 250 |
| **Challenger** | 3½ | 90 | 9½ | 300 |

## § 64. Erfahrungen mit den Beobachtungen der Schwingungsdauer auf hoher See.

Wir haben im II. Abschnitt die Resultate der aus Schwingungsdauer-Beobachtungen abgeleiteten *H*-Deviationen mitgeteilt und gesehen, daß sie fast immer erheblich von den als normal anzusehenden Werten abweichen. Dabei war uns der normale Charakter der letzteren *H*-Werte dadurch verbürgt, daß die daraus abgeleiteten Deviationskoeffizienten mit den nach einer grundsätzlich verschiedenen Methode, nämlich aus *D*-Beobachtungen abgeleiteten Koeffizienten vollständig übereinstimmten. Um für etwaige künftige Untersuchungen über Schwingungsbeobachtungen auf See, die mir durchaus nicht aussichtslos erscheinen, die Wege zu ebnen, seien unsere Ergebnisse kurz zusammengefaßt.

Unsere Beobachtungen erstrecken sich auf die Zeit zwischen Kiel und Kerguelen; von da ab wurden sie wegen ihrer starken Abweichungen nicht mehr weiter durchgeführt. Mit zwei Ausnahmen, wo die schwere Rose des Normalkompasses („N. K.") zu Schwingungsbeobachtungen verwendet wurde, war es die sehr viel leichtere und beweglichere Nadel von D. M., die hierbei Verwendung fand. Die Beobachtungen wurden möglichst immer in der gleichen Weise angestellt: sie wurden begonnen bei einem Ausschlag von etwa 50° von der Mittellage aus und beendet bei einem solchen von etwa 10°; bei D. M. wurde jeder dritte, bei N. K. jeder Durchgang beobachtet. Zwischen Anfangs- und Endschwingung fielen bei D. M. im Durchschnitt an Land 45, an Bord 54, bei N. K. an Bord 20 Durchgänge. Aus den Zeitmitteln wurde dann $(H' : H)$ ohne weitere Korrektion aus der Beziehung abgeleitet:

$$\frac{H'}{H} = \frac{\sec^2}{\sec'^2}$$

Die Ergebnisse trennen wir in zwei Teile und vergleichen zuerst

**die Schwingungen an Bord im Verhältnis zu den Schwingungen an Land,**

indem wir den Mittelwert des obigen Quotienten aus acht äquidistanten Kursen zusammenstellen mit dem entsprechenden Mittelwert, der aus *T*- und *i*-Beobachtungen gewonnen und als normal anzusehen ist:

Mittleres $\frac{H'}{H}$

| Ort | aus Schwingungen | normal | Differenz | Normal-Instrument |
|---|---|---|---|---|
| Kiel | 0.996 | 1.016 | — 20 Prom. | L. C. |
| São Vicente | .998 | .017 | — 19 „ | L. C. |
| Kapstadt | .992 | .015 | — 23 „ | D. M. |
| Kerguelen | .988 | .008 | — 20 „ | D. M. |

Die $(H' : H)$-Werte aus Schwingungen sind sämtlich um die gleiche Größe, um 2 Prozent, zu klein, d. h. die Schwingungsdauer fällt an Bord prinzipiell zu groß aus, wenn an Land und an Bord innerhalb derselben Anfangs- und Endamplituden beobachtet wird. Dabei ist der Seegang bzw. die Stärke der Schiffsbewegung, wie es scheint, ohne entscheidenden Einfluß; denn bei Kiel und Kapstadt war die See fast ganz ruhig, während bei São Vicente und Kerguelen schwerer Seegang herrschte.

Die Erklärung liegt in dem verschiedenartigen Ablauf der Schwingungen an Bord und an Land, wie er schon aus der verschiedenen Anzahl der Durchgänge zwischen denselben Grenzen hervorgeht. Des näheren wird der Sachverhalt folgender sein: die Nadel ist an Bord viel beweglicher als an Land, weil außer dem konstanten Erdfeld fortwährend wechselnde, kleine Impulse wirken, die sich aber in ihrer Gesamtheit aufheben. Obwohl nun die Grenzamplituden an Land und an Bord gleich genommen sind, werden doch die mittleren Amplituden erheblich verschieden sein. Danach läge der Grund der obigen Differenz der Hauptsache nach in der unvollkommenen Elimination des Einflusses der Schwingungsweite auf die Schwingungsdauer. Daß die geringe Verschiedenheit des Dämpfungsverhältnisses nicht in Betracht kommt, mag man leicht aus den mitgeteilten Daten nachweisen.

Bezeichnen wir mit $\tau$ die beobachtete, mit $\tau_0$ die auf unendlich kleinen Bogen reduzierte Schwingungsdauer, und mit $\alpha$ bzw. $\alpha'$ die mittlere Amplitude von Land bzw. Bord, so ist bekanntlich zunächst:

$$\tau = \tau_0 \left(1 + \tfrac{1}{4} \sin^2 \tfrac{1}{2} \alpha + \tfrac{9}{64} \sin^4 \tfrac{1}{2} \alpha \text{ etc.}\right).$$

Wir können also setzen:

$$\frac{H'}{H} = \frac{\tau^2 \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{1}{2} \alpha' + \frac{9}{64} \sin^4 \frac{1}{2} \alpha'\right)^2}{\tau'^2 \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{1}{2} \alpha + \frac{9}{64} \sin^4 \frac{1}{2} \alpha\right)^2} = \frac{\tau^2}{\tau'^2} \; \frac{1 + \frac{1}{2} \sin^2 \frac{1}{2} \alpha' + \frac{11}{32} \sin^4 \frac{1}{2} \alpha'}{1 + \frac{1}{2} \sin^2 \frac{1}{2} \alpha + \frac{11}{32} \sin^4 \frac{1}{2} \alpha}$$

Wenn wir den Korrektionsfaktor garnicht berücksichtigen, wie bei unsern obigen Berechnungen, dann muß $(H' : H)$ natürlich zu klein ausfallen, da $\alpha'$ jedenfalls $> \alpha$ ist.

Der obige Betrag von zwei Prozent wird vollkommen erklärt, wenn wir die mittlere Amplitude an Bord zu 30°, diejenige an Land zu 20° annehmen. Man wird künftig außer den Durchgangszeiten auch die Umkehrpunkte beobachten müssen.

### Schwingungen an Bord auf verschiedenen Kursen.

Zur Vergleichung der Schwingungen verschiedener Kurse an Bord untereinander verwenden wir am besten diejenigen Größen, welche im wesentlichen den Beobachtungs-

differenzen der verschiedenen Kurse ihre Entstehung verdanken, die Drehungskoeffizienten $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$, indem wir wieder die aus Schwingungsbeobachtungen ermittelten Werte mit den normalen, nach andern Methoden bestimmten und durch Rechnung ausgeglichenen Werten zusammenstellen; die Werte sind sämtlich in $10^{-3}$-Einheiten angegeben. Die Rubrik „Instrument" gibt wiederum dasjenige Instrument an, mit welchem die Normalwerte der Koeffizienten ermittelt worden sind.

| Ort | Instr. | $\mathfrak{B}$ | | | $\mathfrak{C}$ | | | $\mathfrak{D}$ | | | $\mathfrak{E}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Schwingg. | normal | Diff. | Schwingg. | normal | Diff. | Schwingg. | normal | Diff. | Schwingg. | normal | Diff. |
| Kiel 1901 | L. C. | − 48 | − 42 | − 6 | + 5 | + 11 | − 6 | + 21 | + 26 | − 5 | − 2 | − 1 | − 1 |
| São Vicente | L. C. | − 31 | − 19 | − 12 | + 3 | + 6 | − 3 | + 20 | „ | − 6 | − 4 | „ | − 3 |
| Auf See 7. X. | N. K. | + 4 | − 10 | + 14 | − 25 | + 3 | − 28 | + 31 | „ | + 5 | + 21 | „ | + 22 |
| „ 24. X. | N. K. | − 11 | − 7 | − 4 | − 11 | + 5 | − 16 | + 41 | „ | + 15 | − 10 | „ | − 9 |
| „ 30. X. | D. M. | + 10 | − 6 | + 16 | + 13 | + 5 | + 8 | + 27 | „ | + 1 | − 39 | „ | − 38 |
| Kapstadt | D. M. | + 4 | 0 | + 4 | − 1 | + 4 | − 5 | + 29 | „ | + 3 | − 10 | „ | − 9 |
| Kerguelen | D. M. | + 24 | + 9 | + 15 | + 6 | + 4 | + 2 | + 26 | „ | 0 | − 7 | „ | − 6 |
| **Mittlere Differenz** arithmetisch | | | | + 4 | | | − 7 | | | + 2 | | | − 6 |
| **absolut** | | | | **10** | | | **10** | | | **5** | | | **13** |

Man sieht, daß die Abweichungen im Mittel sich auf einige Promille beschränken, im einzelnen jedoch zum Teil erhebliche Beträge erreichen. Als Grund der Nichtübereinstimmung der Schwingungsbeobachtungen an Bord untereinander dürfen wir wohl auch hier die Verschiedenheit der mittleren Amplituden auf den einzelnen Kursen ansehen. Dabei scheinen gewisse gesetzmäßige Verhältnisse vorzuliegen: aus dem absoluten Betrag der Abweichungen, den wir als Maß der Unsicherheit ansehen können, geht hervor, daß die Schwingungsbeobachtungen auf den Hauptkursen N, O, S, W weniger gestört sind, als auf den Zwischenkursen[1]) NO, SO, SW, NW. Die geringste mittlere Abweichung hat $\mathfrak{D}$, das nur aus Hauptkursen, die größte $\mathfrak{E}$, das nur aus Zwischenkursen abgeleitet ist; dazwischen liegen die gleich stark gestörten Werte $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{C}$, die zum Teil von Haupt-, zum Teil von Zwischenkursen herrühren.

Überblicken wir das Ganze, so können wir sagen, daß die zum Teil erheblichen Fehler der Resultate aus den Schwingungsbeobachtungen der Nichtberücksichtigung des Ablaufs der Schwingungen im einzelnen zuzuschreiben sind, und daß dieselben künftig wohl dadurch vermieden werden können, daß man außer den Durchgangszeiten noch die Umkehrpunkte beobachtet. Die Untersuchung ergab ausgesprochene Gesetzmäßigkeiten, so daß die Aussicht besteht, die Schwingungsbeobachtungen an Bord zu einer wissenschaftlich brauchbaren Methode der $H$-Bestimmung auszubauen. Nimmt man dazu Ablenkungsbeobachtungen, etwa mit Hilfe des Doppelkompasses, so hätten wir damit die höchst erwünschte Lösung der Aufgabe erreicht, die Intensitätsbeobachtungen auf See einwandfrei von dem unsicheren Gang des magnetischen Moments zu befreien. Daß und warum diese Lösung dem Lloyd-Creak-Apparat, welcher dasselbe Ziel anstrebt, nicht gelingen konnte, werden wir im nächsten Abschnitt nachweisen.

[1]) Dies wird durch die im nächsten Abschnitt dargelegte Störung der Schwingungsweite und deren Abhängigkeit vom Kurs erklärt.

# Viertes Kapitel.

# Einleitung in die Theorie und Praxis der Beobachtung eines freischwingenden Körpers auf schwankendem Schiff.

## I. Abschnitt. Die Bewegungen des Schiffs und die dadurch verursachten besonderen Schwierigkeiten der Bordbeobachtungen.

### § 65. Die Bewegungen des Schiffs und des Beobachtungsplatzes an Bord. Beispiele.

Auf hoher See führt ein Schiff für gewöhnlich die allgemeinsten Bewegungen eines starren Körpers aus, indem es fortwährend gleichzeitig irgendeiner allgemeinsten Parallelverschiebung sowohl wie Drehung ausgesetzt ist. Wir beziehen die räumlichen Vorgänge auf ein fest mit der Erdoberfläche verbundenes Koordinatensystem und überblicken kurz die wichtigsten Bewegungsarten.

Die Parallelverschiebungen des Schiffs bestehen aus horizontalen und vertikalen Bewegungen. Die hauptsächlichste horizontale Parallelverschiebung ist die Vorwärtsbewegung des Schiffs, welche aus der Triebkraft der Segel oder der Dampfmaschine gewonnen wird; dazu kommt die in der Regel viel geringere Verschiebung durch die Strömung der Meeresoberfläche. Der „Gauss“ lief im Durchschnitt zwischen 4 und 5 Knoten, d. i. 2 bis 2½ Meter in der Sekunde. Die den horizontalen Verschiebungen eigentümliche Bewegungsart ist diejenige der gleichförmigen Geschwindigkeit ohne Beschleunigung. Die letztere tritt nur verhältnismäßig selten und nur vorübergehend auf, wenn das Schiff anfährt, stoppt oder sonst seine Geschwindigkeit ändert.

Im Gegensatz dazu sind die vertikalen Parallelverschiebungen beschleunigte Bewegungen mit periodisch wechselnder Beschleunigung: zwischen Wellental und Wellenberg wird das Schiff fortwährend hin und her gehoben und gesenkt und führt dabei außerdem wohl noch vertikale Tauchschwingungen innerhalb geringer Grenzen aus. Je geringer die Erstreckung des Schiffskörpers in der Fortschreitungsrichtung der Wellen ist, desto vollständiger macht das Schiff die Niveauunterschiede der Wellen mit. Beim „Gauss“ war dies bei querlaufender See auf offenem Meer vollständig der Fall, nicht immer, wenn die Wellen von vorn oder hinten kamen. Denn der „Gauss“ überragte mit seinen 46 m Länge manche der kurzen Wellenlängen der Passatgebiete; aber in den etwa 3 mal längeren Wellen der Westwindregion und in den noch viel längeren Wellen der Dünungen „schwamm er obenauf wie eine Ente“.

Die Drehungen des Schiffskörpers vollziehen sich einmal um eine vertikale Achse, und dann haben wir die eigentlichen „Drehungen“, die Kursänderungen des Schiffes, vor uns. Dabei spielen für unsere Zwecke die absichtlichen, seltenen Kursveränderungen keine Rolle, sondern vielmehr jene häufigen und rascheren Schwankungen des Kurses innerhalb eines oder mehrerer Striche, die durch den Anprall von Wind und See entstehen und besonders bei einem

Segelschiff auftreten. Dieses „Gieren“ des Schiffes ist im Gegensatz zu den übrigen Bewegungsarten durch seine Regellosigkeit ausgezeichnet. Die auffallendste Bewegungsform des Schiffes ist das „Rollen“; es besteht aus ziemlich regelmäßigen, periodischen Drehungen um eine horizontale Achse, die im mittleren Längsschnitt des Schiffes nahezu festliegt. Der „Gauss“ neigte vermöge seiner runden Form stark zum Rollen; doch war die Bewegung verhältnismäßig langsam und hatte eine Periode von etwa 9 sec.

Die letzte mögliche Bewegungsart unseres Schiffskörpers ist die Drehung desselben um eine horizontale Achse quer zum Schiffskörper; man nennt sie das „Stampfen“ des Schiffes. Dasselbe tritt hauptsächlich auf, wenn die See oder die Dünung von vorn oder auch von hinten kommt; obgleich die Amplitude dieser Bewegung viel kleiner ist als beim Rollen, so spielt sie sich dafür viel rascher ab und wirkt dadurch verhältnismäßig heftiger. Die Bewegungsart ist ebenfalls eine periodische, hat jedoch nicht ganz die Regelmäßigkeit des Rollens oder der Vertikalschwankungen des Schiffs.

Im folgenden geben wir zur Veranschaulichung des Gierens und Rollens unsres „Gauss“ die Abschrift von 2 Horizontalintensitätsbestimmungen mit dem Deviationsmagnetometer (D. M.); eine Horizontalnadel wird nach LAMONTscher Ablenkungsweise durch einen Magneten aus den bekannten 4 Lagen $v_1$ $v_2$ $v_3$ $v_4$ abgelenkt. Die Schwankungen der Horizontalnadel sind dabei sehr beträchtliche und betragen beim ersten Beispiel 10—25 Grad, beim zweiten Beispiel 30—90 Grad. In jeder Lage v wird die Mittellage der Nadel zehnmal geschätzt, und gleichzeitig jedesmal der Stand des Peilkompasses durch einen zweiten Beobachter abgelesen; die letzteren Beobachtungen sind unter „Kurs“, die ersteren unter „D. M.“ mitgeteilt. Man bemerkt, daß die Teilungen von Kompaß und D. M. in entgegengesetztem Sinn laufen. Am Schluß jeder Messung ist das Rollen des Schiffes durch Ablesen einer Reihe aufeinanderfolgender Umkehrpunkte an einem Schlingerpendel bestimmt worden; + bedeutet die Neigung des Schiffs nach Steuerbord, die auf gleicher Linie stehende Zahl mit — gibt die darauf folgende maximale Neigung des Schiffes nach Backbord.

## Beispiele für das Drehen und Rollen des „Gauss“.

### 1. Günstige Verhältnisse: Südost-Passat.

### Beobachtung von H am 15. Oktober 1901.

Anfang: 6h 20m a. m. Breite: 15° S.
Ende: 6h 41m a. m. Länge: 19° W.

| $v_1$ | | $v_2$ | | $v_3$ | | $v_4$ | | Rollen Umkehrpunkte | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kurs | D. M. | Kurs | D. M. | Kurs | D. M. | Kurs | D. M. | | |
| S 34,2 W | 61,3 | S 31,2 W | 62,4 | S 31,2 W | 358,0 | S 30,5 W | 357,4 | + 6° | — 3° |
| 34,5 | 61,0 | 32,8 | 62,4 | 31,2 | 358,2 | 28,3 | 359,4 | + 6 | — 2 |
| 35,0 | 61,1 | 32,8 | 61,7 | 31,4 | 357,8 | 28,8 | 359,0 | + 6 | — 2 |
| 34,2 | 61,7 | 33,0 | 61,6 | 33,8 | 356,0 | 29,0 | 359,1 | + 5 | — 2 |
| 34,2 | 61,9 | 33,2 | 61,9 | 35,8 | 353,0 | 29,0 | 358,8 | + 7 | — 2 |
| 34,2 | 61,8 | 34,0 | 61,1 | 34,2 | 354,8 | 30,1 | 358,7 | + 7 | 0 |
| 35,8 | 60,0 | 34,2 | 61,0 | 34,3 | 354,4 | 30,4 | 357,9 | + 5 | — 1 |
| 33,8 | 62,0 | 34,0 | 61,0 | 33,8 | 355,0 | 37,5 | 350,9 | + 7 | — 2 |
| 32,8 | 62,4 | 34,1 | 61,0 | 31,8 | 357,0 | 37,4 | 350,9 | + 6 | — 4 |
| 32,0 | 63,2 | 33,8 | 61,0 | 31,4 | 357,4 | 38,0 | 351,2 | + 6 | — 4 |

## 2. Schwierige Verhältnisse: Westwindregion.

### Beobachtung von H am 24. April 1903.

Anfang: $9^h\ 27^m$ a. m. Breite: 42° S.
Ende: $10^h\ 4^m$ a. m. Länge: 76° O.

Bemerkung: Beobachtung äußerst schwierig wegen ruckweisen Drehens des „Gauss“ und heftiger Nadelschwankungen. Wind von B. B. achtern ein.

| $v_1$ | | $v_2$ | | $v_3$ | | $v_4$ | | Rollen Umkehrpunkte | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kurs | D. M. | Kurs | D. M. | Kurs | D. M. | Kurs | D. M. | | |
| N 16 O | 177° | N 0 O | 188° | N 9 O | 122° | N 22 O | 111° | + 12° | 0° |
| 20 | 173 | 16 | 179 | 4 | 126 | 18 | 113 | + 13 | — 6 |
| 12 | 178 | 16 | 176 | 18 | 117 | 16 | 118 | + 15 | 0 |
| 8 | 184 | 18 | 173 | 14 | 116 | 15 | 119 | + 17 | — 8 |
| 4 | 186 | 16 | 172 | 8 | 118 | 20 | 117 | + 12 | + 1 |
| 10 | 181 | 16 | 176 | 10 | 121 | 17 | 116 | + 15 | — 5 |
| 12 | 179 | 15 | 179 | 4 | 125 | 15 | 115 | + 13 | — 5 |
| 14 | 178 | 12 | 182 | 4 | 127 | 8 | 124 | + 15 | — 4 |
| 8 | 180 | 14 | 175 | 3 | 126 | 3 | 126 | + 12 | — 1 |
| 15 | 177 | 19 | 175 | 7 | 126 | 6 | 124 | + 18 | — 8 |

Bei unsern Untersuchungen interessieren uns jedoch weniger die Bewegungen des Schiffskörpers als eines Ganzen, sondern vielmehr diejenigen eines besonderen Platzes an Bord, unsres Beobachtungsortes, den wir als in der Mittschiffsebene angeordnet voraussetzen. Die Parallelverschiebungen des Schiffskörpers macht er natürlich in gleicher Weise wie jeder beliebige Punkt an Bord mit. Dagegen werden sich die Drehungen des Schiffskörpers, die wir mit „Rollen“ und „Stampfen“ bezeichneten, an unserem Beobachtungsort in der Hauptsache als Parallelverschiebungen des letzteren äußern. So wird unser Ort, den wir bei aufrechter Schiffslage vertikal über dem Metazentrum annehmen (beim „Gauss“ in etwa 6 m Entfernung), bei der Rollbewegung nahezu in seiner eigenen Horizontalebene hin und her bewegt, unter welche er nur um ein unbedeutendes in der Nähe der beiderseitigen Umkehrstellen heruntersinkt; diese Vertikalbewegung, welche bei der verhältnismäßig geringen Amplitude des Rollens gegenüber der gleichzeitigen Horizontalbewegung klein ist, wollen wir künftig ganz außer acht lassen. Beim Stampfen, wo die Ebene durch Beobachtungsort und Drehachse von der Horizontalebene nicht stark abweicht, wird unser Ort umgekehrt der Hauptsache nach nur vertikale Schwingungen ausführen; hierbei ist die Entfernung von der Drehachse weniger konstant als beim Rollen.

Zusammenfassend werden wir die Bewegungen des Beobachtungsplatzes an Bord folgendermaßen charakterisieren können: er bewegt sich mit Schiff und Strom in horizontaler Richtung, in der Regel mit gleichförmiger Geschwindigkeit; dabei schwankt das Azimut irgendeiner festen Linie unsres Platzes infolge des Gierens oder schlechten Steuerns unregelmäßig innerhalb eines, selten einiger Striche hin und her. Insbesondere aber führt unser Ort ziemlich regelmäßige periodische Schwingungen in horizontaler und vertikaler Richtung aus. Die horizontalen Schwingungen sind durch das Rollen des Schiffes verursacht, während die vertikalen Schwankungen zwei Ursachen entspringen, einmal dem langsameren Heben und Senken durch die Wellen und zweitens den geringeren, aber schnelleren Stampfbewegungen des Schiffes.

## § 66. Der schwingende Körper und seine Bestimmungsstücke.

Als freischwingenden Körper betrachten wir im folgenden nur einen Körper mit fester Drehungsachse, also mit einem Freiheitsgrad der Bewegung. Die Drehachse kann horizontal oder vertikal sein, und damit sie das bei den Schiffsbewegungen, in erster Annäherung wenigstens, bleibt, wird sie auf einem kardanischen Gehänge montiert. Körper mit horizontaler Achse sind z. B. das gewöhnliche Pendel, die Inklinationsnadel, mit vertikaler Achse z. B. der Kompaß, jede Horizontalnadel, viele Galvanometerarten usw. Körper, die nur in einem Punkt aufgelagert sind, wie der Kompaß, können bis zu einem gewissen Grad alle möglichen Drehungen ausführen; doch vernachlässigen wir die geringen Schwankungen um horizontale Achsen.

Meistens dient ein solcher freischwingender Körper zur Bestimmung der Richtung irgendeiner Kraft, welcher er ausgesetzt ist. Das bekannteste Beispiel ist ja der Kompaß; um noch andere Beispiele aufzuführen, so dient das „Schlingerpendel" zur Bestimmung der Schwerericht ung, um daran die wechselnde Neigung des Decks zu messen, oder etwa die abgelenkte Horizontalnadel, um die Richtung des Kraftfelds irgendeiner Kombination des Erdmagnetismus und eines andern Magnetfeldes zu ermitteln. An Land warten wir hierzu die feste „Einstellung" des anfänglich etwas schwankenden freischwingenden Körpers ab; an Bord gibt es keine feste Einstellung mehr, wir haben unaufhörlich mehr oder weniger starke Schwankungen unsres Beobachtungskörpers vor uns. Es entsteht daher die Frage: wie können wir aus diesen Schwankungen die gesuchten Richtungen einwandsfrei bestimmen?

Außer solchen Richtungsmessungen haben wir noch manchmal die Aufgabe, die Schwingungsdauer und die Schwingungsweite eines absichtlich zum Schwingen gebrachten Körpers zu messen, und es entsteht die Frage: werden diese beiden Elemente an Bord außer von den zu untersuchenden Kräften noch durch neue Umstände beeinflußt?

## § 67. Vorläufiges über den störenden Einfluß der Schiffsbewegungen. Beispiele.

Wir haben in § 65 gesehen, welche Bewegungen unser Beobachtungsplatz und damit die Achsenlager der freischwingenden Beobachtungskörper unter dem Einfluß der Schiffsbewegungen erleiden. Es ist von vornherein klar, daß die mit gleichförmiger Geschwindigkeit vor sich gehenden Parallelverschiebungen außer acht bleiben können; dagegen werden alle beschleunigten Bewegungen, insbesondere die periodischen Horizontal- oder Vertikalschwingungen, neue störende Kräfte verursachen.

Unter der fortwährend wechselnden Beschleunigung unsres ganzen Beobachtungskörpers entsteht ein fortwährend wechselndes System von Lagerdrucken seiner Achse; das Lager selbst bleibt auch in dem kardanischen Gehänge, das ebenfalls in Unruhe gerät, nie ganz horizontal bzw. vertikal. Schon infolge dieser Unsicherheit der Lagerung gerät der freischwingende Körper an Bord in Unruhe, auch wenn sein Schwerpunkt so genau wie möglich in der Drehungsachse liegt, wie bei der gewöhnlichen Inklinationsnadel. Ganz besonders aber werden die beschleunigten Schiffsbewegungen diejenigen Körper beunruhigen, deren Schwerpunkt außerhalb der Drehungsachse liegt; denn jede Beschleunigung des Lagers bringt eine gleich große, aber entgegengesetzte Beschleunigung des Schwerpunkts bezüglich der Drehachse hervor. Bei vielen Körpern liegt der Schwerpunkt notwendig außerhalb der Drehachse, z. B. beim

Pendel, bei jeder horizontalen Magnetnadel; andererseits hat man denselben auch absichtlich exzentrisch angeordnet, um das Drehungsmoment der Schwerkraft als Messungselement zu benutzen.

So entstehen denn für die Beobachtungen an Bord im Unterschied von denjenigen an Land eine Reihe von neuen und eigenartigen Schwierigkeiten. Dieselben sind zunächst rein äußerer Art: es gibt keine Ruhelage, keine feste Einstellung mehr; es gibt nur noch Mittellagen von fortwährenden Schwingungen, und auch diese ist es mitunter gar nicht leicht festzustellen. Beim Kompaß ist es zwar jahrhundertelangen Bemühungen gelungen, diese Schwingungen möglichst zu verringern; aber die gewöhnliche Landkompaßnadel, die wir als Horizontalnadel im Deviationsmagnetometer (vgl. Tafel III) an Bord in ständigem Gebrauch hatten, schwankte fortwährend in 10, 20, 30 und mehr Graden hin und her; ja in der stürmischen Westwindregion schlug sie gar häufig an die Wände ihres Kästchens an, obwohl sie nach beiden Seiten von der Mittellage etwas mehr als 50 Grad Spielraum hatte!

Als weiteres Beispiel, in welche Unruhe ein Beobachtungskörper mit exzentrischem Schwerpunkt an Bord versetzt wird, teilen wir folgende Beobachtungsreihe an der belasteten Inklinationsnadel des Lloyd-Creak-Apparats mit. Die Abweichung der Richtung einer exzentrisch belasteten Inklinationsnadel von der wahren Inklination soll ein relatives Maß für die Totalintensität geben. Die Nadel ist in vier Lagen beobachtet; für jede Lage sind hier etwa 10 Paare von Umkehrpunkten der oberen Spitze mitgeteilt; je zwei Zahlen auf derselben Linie sind aufeinanderfolgende Umkehrpunkte. Die Reihe der aufeinanderfolgenden Paare ist hie und da unterbrochen, da die Beobachtung der ohne Mikroskop kaum zu erkennenden Teilung sehr schwierig war. Die Teilung ist für Minutenablesung eingerichtet, und dabei schwankt die Nadel, wie man sieht, bis 100 Grad und darüber hin und her! Es sei ausdrücklich hervorgehoben, daß die Nadel nicht etwa angestoßen, vielmehr nach Einhängen und Beruhigen sich selbst überlassen wurde. Der Zustand der ebenfalls heftigen Schiffsbewegung ist durch die Rubrik „Rollen“ charakterisiert, welche eine Reihe aufeinanderfolgender Umkehrpunkte des Schlingerpendels angibt; bei + kehrt das Schiff auf St. B., bei — auf B. B. um.

**Schwankungen der belasteten Inklinationsnadel (L. C.) unter dem Einfluß der Schiffsbewegungen.**

**Beobachtung von T am 23. April 1903.**

Anfang: $11^h$ $25^m$ a. m. Breite: 44° S
Ende: 45 „ Länge: 75° O

Bemerkung: Beim Wind über St. B.-Bug.

| Bez. vorne | | Bez. hinten | | Rollen Umkehrpunkte | |
|---|---|---|---|---|---|
| Kreis Ost | Kreis West | Kreis West | Kreis Ost | | |
| 194° . . 237° | 305° . . 350° | 313° . . 342° | 198° . . 235° | + 14° | + 6° |
| 192 . . 243 | 287 . . 350 | 302 . . 360 | 209 . . 224 | + 19 | — 5 |
| 188 . . 242 | 310 . . 334 | 297 . . 360 | 213 . . 218 | + 20 | — 2 |
| 194 . . 231 | 312 . . 325 | 320 . . 330 | 205 . . 219 | + 26 | — 8 |
| 205 . . 220 | 310 . . 340 | 318 . . 339 | 207 . . 216 | + 20 | — 2 |
| 210 . . 225 | 295 . . 345 | 300 . . 348 | 193 . . 235 | + 19 | 0 |
| 215 . . 222 | 294 . . 350 | 302 . . 340 | 200 . . 240 | + 14 | + 4 |
| 185 . . 250 | 300 . . 352 | 303 . . 344 | 203 . . 233 | + 16 | + 4 |
| 205 . . 247 | 265 . . 388 | 309 . . 330 | 200 . . 230 | + 20 | — 4 |
| 210 . . 220 | | 315 . . 334 | 199 . . 236 | + 16 | + 1 |

Unter die äußeren Schwierigkeiten rechnen wir auch noch diejenigen, welche durch die eigentlichen Schiffsdrehungen verursacht werden. Sie bestehen darin, daß sie es zunächst unmöglich machen, zwei im Raum festliegende horizontale Richtungen, die nacheinander zu messen und miteinander zu kombinieren sind, z. B. die beiden Schenkel eines Ablenkungswinkels, einwandsfrei aufeinander zu beziehen, oder eine bestimmte Richtung im Raum für längere Zeit festzuhalten, wie es z. B. für die Inklinationsmessung erforderlich ist.

Zu solchen äußeren Schwierigkeiten gesellen sich innere Schwierigkeiten grundsätzlicher Art. Wenn es nun gelungen ist, unter den geschilderten Schwierigkeiten eine Mittellage oder einen Ablenkungswinkel, eine Schwingungsdauer oder eine Schwingungsweite zu bestimmen was haben diese Werte dann überhaupt zu bedeuten? Wird denn die Mittellage mit der gesuchten idealen Ruhelage, die man an Land ohne weiteres erhält, und welche allein in den Formeln berücksichtigt ist, identisch sein; werden nicht vielmehr durch die beschleunigten Schiffsbewegungen an dem exzentrischen Schwerpunkt neue Kräfte geweckt, die ganz neue Verhältnisse schaffen und den ermittelten Größen eine andere Bedeutung verleihen? Solche Fragen drängen sich dem Beobachter, der mit dem Deviationsmagnetometer oder der belasteten Inklinationsnadel auf hoher See arbeitet, ganz von selber auf; er kann sich bei eingehender Betrachtung der ruhelosen Schwingungen seiner Nadel oft des Gefühls nicht erwehren, daß dieselbe eine der beiden Seiten mehr bevorzugt als die andere.

Über solche Fragen und Zweifel verschaffen wir uns Klarheit durch das Studium der Differentialgleichung des schwingenden Körpers auf schwankendem Schiff. Wenn wir unter dem schwingenden Körper fortan stets die Magnetnadel verstehen, so hat dies in der bequemen Benutzung der Resultate für unsere eigenen Beobachtungen seinen Grund; die Tragweite der Untersuchungen beschränkt sich keineswegs auf die Magnetnadel allein, sondern umfaßt alle möglichen Körper, die sich mit einem Freiheitsgrad auf einer rhythmisch schwankenden Unterlage bewegen. Wir untersuchen im folgenden das Verhalten der exzentrisch belasteten Horizontal- und Inklinationsnadel bei den wesentlich störenden Bewegungsarten des Schiffes und erhalten dabei folgende 4 verschiedenen Fälle:

1. die einfache Horizontalnadel
2. die abgelenkte Horizontalnadel } beim Rollen des Schiffs
3. die Inklinationsnadel
4. die Inklinationsnadel bei den Vertikalschwankungen des Beobachtungsplatzes.

## II. Abschnitt. Die Differentialgleichung der schwingenden Magnetnadel auf schwankendem Schiff und ihre Lösung nach Dr. Balthasar Hartmann.

Der mathematische Teil der folgenden Untersuchungen stammt in der Hauptsache von einem meiner Mitarbeiter, von Herrn Dr. Balthasar Hartmann, dessen lebhaftes Interesse dem Problem sich zuwandte, nachdem ich mich eine Zeitlang vergebens um die Lösung der obigen Differentialgleichung bemüht hatte, und der sich damit um die Grundlagen aller Schiffsbeobachtungen ein bleibendes Verdienst erworben hat. Es war dann ein leichtes, die mathematischen Untersuchungen durch die Beobachtung zu ergänzen und zu bestätigen, und

die Erfahrungen einer 13-monatlichen Seereise in die erstrebte präzise Form zu fassen, was in den beiden letzten Abschnitten dieses Kapitels geschehen soll.

## § 68. Die lebendige Kraft.

Schiff und Nadel haben je eine veränderliche freie Koordinate; wir suchen den Gang der freien Koordinate der Nadel unter dem Einfluß der Veränderlichkeit der freien Koordinate des Schiffs, indem wir von den betrachteten Bewegungsarten des Schiffs immer nur eine zu gleicher Zeit zulassen. Um die LAGRANGEschen Gleichungen 2. Art verwenden zu können, stellen wir zuerst den Ausdruck für die lebendige Kraft des Systems: „Schiff + Nadel" her und bestimmen sodann die Kräfte, welche auf die freien Koordinaten wirken.

Wir orientieren die Bewegungen der Nadel an einem rechtwinkligen Koordinatensystem, dessen Ursprung in den Auflagepunkt bzw. in den Mittelpunkt der Drehachse der Nadel fällt, dessen $X$-Achse horizontal nach magnetisch Nord, dessen $Y$-Achse horizontal nach magnetisch Ost und dessen $Z$-Achse vertikal abwärts zeigt. Die einseitige Richtung irgendeiner Drehachse und der Sinn der Drehung um dieselbe gehören zusammen, wie Vorwärtsschreiten und Drehsinn der rechtsdrehenden Schraube; es wird also eine Koordinatenachse der Reihenfolge $XYZXY\ldots$ in die nächste durch eine Drehung von $90^0$ um die übernächste übergeführt.

Die lebendige Kraft $L$ des Systems „Schiff + Nadel" ist die Summe: $L_s$, lebendige Kraft des Schiffes, $+L_n$, lebendige Kraft der Nadel. Zur Ableitung von $L_n$ verwenden wir den Satz der Mechanik, nach welchem die lebendige Kraft eines starren Körpers in irgendeinem Augenblick dargestellt werden kann als Summe der lebendigen Kraft der augenblicklichen Parallelverschiebung des Schwerpunkts und derjenigen der augenblicklichen Drehung um den Schwerpunkt. Wir gehen nunmehr zur Behandlung der am Schluß von § 67 gekennzeichneten Einzelfälle über.

### 1 und 2. Die einfache und abgelenkte Horizontalnadel auf rollendem Schiff.

Schiff. Wir sehen ab von der mit gleichmäßiger Geschwindigkeit sich vollziehenden Parallelverschiebung des Schiffs unter Dampf oder Segel. Bei der Rollbewegung dreht sich das Schiff um eine nahezu feste horizontale Achse in der Mittschiffsebene, um das „Metazentrum". Als freie Koordinate wählen wir den Winkel $\Phi$ der Mittschiffsebene mit der Vertikalebene; die Differentialquotienten nach der Zeit $t$ bezeichnen wir im folgenden mit den LAGRANGEschen Indexstrichen. Bedeutet nun $K$ das Trägheitsmoment des Schiffskörpers um das Metazentrum, so ist die lebendige Kraft des Schiffes $L_s$ dargestellt durch die Gleichung:

$$L_s = \frac{1}{2} K \Phi'^2.$$

Nadel. Als freie Koordinate der Nadel wählen wir ihren augenblicklichen Winkel $\varphi$ mit der idealen Ruhelage $R$, welche bei unbeweglicher Unterlage sich einstellen würde. $R$ ist von 0 verschieden oder gleich 0, je nachdem die Horizontalnadel abgelenkt ist oder nicht. Die augenblickliche Parallelverschiebung des Nadelschwerpunktes ist durch 2 horizontale Vektoren verursacht. Der erste stammt aus der Eigenbewegung der Nadel, steht senkrecht auf der Nadel und hat die Größe $l\varphi'$, wenn $l$ den Abstand zwischen Schwerpunkt und Dreh-

punkt bezeichnet; der zweite stammt aus der Schiffsbewegung, steht senkrecht auf der Kursrichtung, welche mit der $X$-Achse den Winkel $\zeta$ bildet; er hat die Größe $e\Phi'$, wenn $e$ die Entfernung zwischen Metazentrum und Ursprung bezeichnet. Wie man an der Abbildung 11 leicht erkennt, bilden diese beiden Vektoren den Winkel $(R+\varphi-\zeta)$ miteinander. Die Drehung der Nadel um ihren Schwerpunkt stammt allein aus der Eigenbewegung der Nadel, da sie sich nur um eine stets vertikale Achse drehen kann, auf welcher die Drehachse der Schiffsbewegung senkrecht steht. Sie ist bestimmt durch $\varphi'$ und das Trägheitsmoment $S$ der Nadel um eine vertikale Achse durch ihren Schwerpunkt. Bilden wir nun nach bekannten Regeln die lebendige Kraft $L_n$ der Nadel mit der Masse $m$ und addieren dazu das oben ermittelte $L_s$, so erhalten wir als lebendige Kraft des Systems „Schiff + Nadel“:

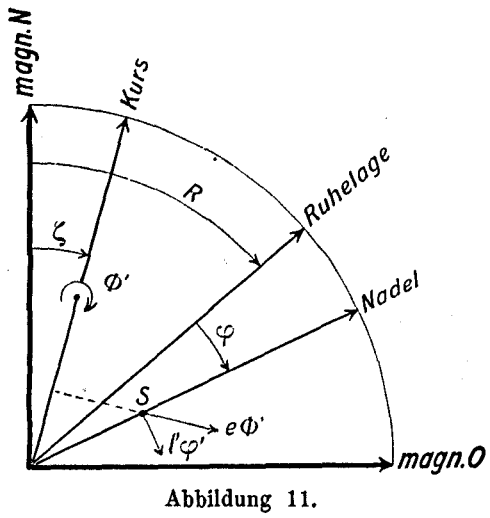


Abbildung 11.

$$L = \tfrac{1}{2} K \Phi'^2 + \tfrac{1}{2} m \{l^2 \varphi'^2 + e\Phi'^2 + 2le\varphi'\Phi' \cos(\varphi + R - \zeta)\} + \tfrac{1}{2} S \varphi'^2$$
$$= \tfrac{1}{2}(K + me^2)\Phi'^2 + \tfrac{1}{2}(S + ml^2)\varphi'^2 + mle\,\varphi'\Phi' \cos(\varphi + R - \zeta).$$

$me^2$ verschwindet gegen $K$; der Faktor von $\varphi'^2$ bedeutet das Trägheitsmoment der Nadel um ihre natürliche Drehachse; dasselbe bezeichnen wir künftig stets mit $k$ im Gegensatz zu dem $K$ des Schiffes. So erhalten wir für Fall 1 und 2

$$L = \tfrac{1}{2} K \Phi'^2 + \tfrac{1}{2} k \varphi'^2 + mle\,\varphi'\Phi' \cos(\varphi + R - \zeta). \tag{41}$$

$R$ ist für den Fall 1 gleich 0 zu setzen.

### 3. Die Inklinationsnadel auf rollendem Schiff.

Die lebendige Kraft des Schiffes ist dieselbe wie bei Fall 1 und 2.

Die Nadel schwinge frei in der $XZ$-Ebene, im magnetischen Meridian. Die augenblickliche Parallelverschiebung ihres Schwerpunktes ist durch zwei verschieden gerichtete Vektoren verursacht[1]). Der erste stammt aus ihrer Eigenbewegung, liegt demnach in der $XZ$-Ebene senkrecht auf der Nadel und hat die Größe $l\varphi'$; $l$, $\varphi$ und $R$ mögen die analoge Bedeutung haben wie im Fall 1 und 2. Der zweite Vektor der Parallelverschiebung stammt aus der Schiffsbewegung, liegt in der $XY$-Ebene senkrecht auf der Kursrichtung und hat wiederum die Größe $e\Phi'$. Wir zerlegen denselben in zwei Komponenten nach den Koordinatenachsen und erhalten $-e\Phi' \sin\zeta$ als Komponente nach der $X$-Achse, $+e\Phi' \cos\zeta$ als Komponente nach der $Y$-Achse. Letztere kann nur durch Druck, nicht durch Bewegung in Erscheinung treten. Die zwei ersten Vektoren geben zusammen als Quadrat des bewegenden Gesammtvektors:

$$l^2\varphi'^2 + e^2\Phi'^2 \sin^2\zeta - 2\,le\,\varphi'\Phi' \sin\zeta \cos(\varphi + R).$$

[1]) Siehe Abbildung 12.

Die augenblickliche Drehung der Nadel um ihren Schwerpunkt stammt lediglich aus ihrer Eigenbewegung; $\varphi'$ und $S$ mögen die analoge Bedeutung haben wie im Fall 1 und 2. Eine kinematische Drehung infolge der Schiffsbewegung möge durch die kardanische Aufhängung ausgeschlossen sein. Bilden wir wiederum $L$ aus seinen Teilen $L_s$ und $L_n$, so erhalten wir

$$\begin{aligned} L &= \tfrac{1}{2} K \Phi'^2 + \tfrac{1}{2} m \{l^2 \varphi'^2 + e^2 \Phi'^2 \sin^2 \zeta - 2\, le\, \varphi' \Phi' \sin \zeta \cos (\varphi + R)\} + \tfrac{1}{2} S \varphi'^2 \\ &= \tfrac{1}{2} (K + me^2 \sin^2 \zeta)\, \Phi'^2 + \tfrac{1}{2} (S + ml^2)\, \varphi'^2 - mle\, \varphi' \Phi' \sin \zeta \cos (\varphi + R), \end{aligned}$$

wofür wir ganz analog wie im obigen Fall setzen:

$$L = \tfrac{1}{2} K \Phi'^2 + \tfrac{1}{2} k \varphi'^2 - mle\, \varphi' \Phi' \sin \zeta \cos (\varphi + R). \tag{42}$$

$k$ hat hierbei die Bedeutung des Trägheitsmoments der Inklinationsnadel um ihre natürliche Drehachse.

### 4. Die Inklinationsnadel bei den Vertikalschwankungen des Beobachtungsplatzes.

Schiff. Als freie Koordinate der Schiffsbewegung wählen wir in unserem Fall den Abstand $z$ des beweglichen Nadelmittelpunktes von seiner normalen, bei ruhigem Schiff ihm zukommenden Horizontalebene, ob nun der Beobachtungsplatz mit allen Teilen des Schiffskörpers dasselbe $z'$ gemeinsam hat, während das ganze Schiff von den Wellen gehoben und gesenkt wird, oder ob er lediglich unter dem Einfluß der Stampfbewegungen des Schiffes Vertikalschwankungen ausführt. $L_s$ hat die Form: $L_s = \frac{1}{2} M z'^2$, wo $M$ im ersteren Fall die Masse des ganzen Schiffes bedeutet, im zweiten Fall sein Trägheitsmoment hinsichtlich der Stampfbewegung, dividiert durch das Quadrat des Abstands zwischen Drehachse und Beobachtungsplatz.

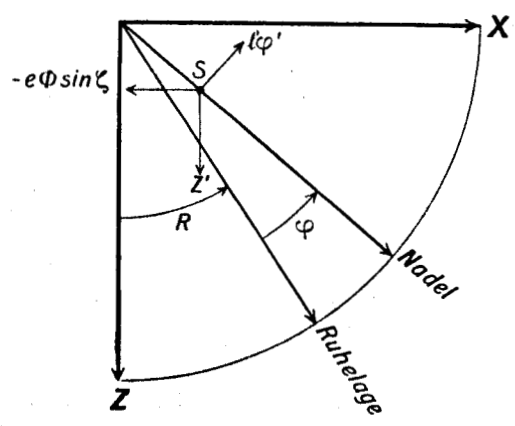


Abbildung 12.

Nadel. Die augenblickliche Parallelverschiebung des Nadelschwerpunktes ist durch zwei verschiedene, in der $XZ$-Ebene liegende Vektoren verursacht (vgl. Abbildung 12). Der erste stammt aus der Eigenbewegung $\varphi'$, steht senkrecht auf der Nadel und hat die Größe $l\varphi'$; der zweite rührt von der Schiffsbewegung her, ist vertikal gerichtet und hat die Größe $z'$; sie bilden miteinander den Winkel $\varphi + R + \frac{1}{2}\pi$. Das Quadrat des resultierenden Vektors lautet:

$$z'^2 + l^2 \varphi'^2 + 2 z' l \varphi' \cos (\varphi + R + \tfrac{1}{2}\pi).$$

Die augenblickliche Drehung der Nadel um ihren Schwerpunkt folgt allein aus ihrer Eigenbewegung; die lebendige Kraft dieser Drehung ist $\frac{1}{2} S \varphi'^2$.

So erhalten wir das $L$ aus seinen einzelnen Bestandteilen in folgendem Ausdruck:

$$L = \tfrac{1}{2} M z'^2 + \tfrac{1}{2} m \{z'^2 + l^2 \varphi'^2 - 2 z' l \varphi' \cos (\varphi + R + \tfrac{1}{2}\pi)\} + \tfrac{1}{2} S \varphi'^2,$$

woraus sich unter Verwendung früherer Abkürzungen ergibt:

$$L = \tfrac{1}{2} M z'^2 + \tfrac{1}{2} k \varphi'^2 + m l z' \varphi' \cos(\varphi + R + \tfrac{1}{2}\pi). \tag{43}$$

Ein Vergleich der Gleichungen 41—43 ergibt für unsere vier verschiedenen Fälle eine und dieselbe typische Form von $L$:

$$\boxed{L = \tfrac{1}{2} K \psi'^2 + \tfrac{1}{2} k \varphi'^2 + \mathfrak{k}\, \psi' \varphi' \cos(\varphi + \varepsilon).} \tag{44}$$

Wir stellen in folgender Übersicht die Bedeutung der Buchstaben von Gleichung 44 noch einmal zusammen:

**Bedeutung der Buchstaben von Gleichung 44.**

(44a)

| | $\varepsilon$ | $\mathfrak{k}$ | $K$ | $\psi$ | $k$ | $\varphi$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Horizontalnadel auf rollendem Schiff. | $-\zeta$ | $+mle$ | Trägheitsmoment des Schiffs bezüglich des Metazentrums | Winkel $\Phi$ der Mittschiffsebene mit der Vertikalebene | Trägheitsmoment der Nadel um ihre natürliche Drehachse | Augenblicklicher Winkel der Nadel mit der normalen Ruhelage |
| 2. Abgelenkte Hor.-Ndl auf rollendem Schiff. | $R-\zeta$ | $+mle$ | | | | |
| 3. Inklinationsnadel auf rollendem Schiff. | $+R$ | $-mle \sin\zeta$ | | | | |
| 4. Inklinationsnadel bei Vertikalschwankungen | $R+\frac{1}{2}\pi$ | $+ml$ | Merkmal der Schiffsmasse | Abstand $z$ der Nadelmitte von der normalen Hor.-Ebene | | |

Dabei ist $\zeta$ der wahre magnetische Kurs des Schiffes;

$R$ die Richtung zwischen der normalen, bei fester Unterlage sich einstellenden Ruhelage und zwischen magnetisch Nord bei der Horizontalnadel, bzw. der nach abwärts zeigenden Vertikalen bei der Vertikalnadel;

$m$ die Masse der Nadel,

$l$ der Abstand zwischen Schwerpunkt und Drehpunkt derselben;

$e$ der Abstand zwischen Nadelmitte und Metazentrum.

## § 69. Die Kräfte auf die freien Koordinaten.

Wenn wir mit $p$ irgendeine freie Koordinate eines starren Systems, mit $p'$ ihren Differentialquotienten nach der Zeit bezeichnen, so lautet die LAGRANGEsche Bewegungs-Gleichung für diese Koordinate:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial p'}\right) - \frac{\partial L}{\partial p} = \frac{\partial U}{\partial p}.$$

Dabei bezeichnet die rechte Seite diejenige „Kraft“ im verallgemeinerten Sinn, welche die Änderung der Koordinate verursacht. Im § 68 haben wir $L$ als Funktion der freien Koordinaten unsres Systems „Schiff + Nadel“ dargestellt; jetzt wollen wir die analytischen Ausdrücke der verallgemeinerten Kräfte für unsere vier Fälle ableiten.

Für die Schiffsbewegungen machen wir die Annahme, daß sie sich vollkommen harmonisch abspielen sollen. In Wirklichkeit wird dies nur für einen gewissen mittleren Verlauf derselben und auch da nur in 1. Annäherung zutreffen, da wir dabei Kräfte 2. Ordnung, wie die dämpfende oder einseitige Wirkung von Wind und Wellen, außer acht lassen. Die wesentliche Hauptsache der Rollbewegung und der Vertikalschwankungen des Schiffs werden wir jedoch treffen, wenn wir die freie Koordinate $\psi$, mag sie $\Phi$ oder $z$ bedeuten, einfache Sinusschwingungen ausführen lassen, da die Grenzen von $\psi$ in Wirklichkeit enge sind. Wir setzen daher:

$$\frac{\partial U}{\partial \psi} = - D \psi. \tag{45}$$

**Die verallgemeinerten Kräfte auf die Nadeln.**

1. Die einfache Horizontal- oder Deklinationsnadel (Kompaß) wird, wenn sie vom magnetischen Meridian um den Winkel $\varphi$ abweicht, zurückgezogen nach dem Gesetz:

$$\frac{\partial U}{\partial \varphi} = - M H \sin \varphi. \tag{46}$$

$M$ bedeutet ihr magnetisches Moment, $H$ die erdmagnetische Horizontalintensität.

2. Die abgelenkte Horizontalnadel, die nach Lamonts Methode abgelenkt sein möge, hat bei ruhigem Schiff eine mit dem Meridian den Winkel $R$ (Ablenkungswinkel) bildende Ruhelage. Weicht die Nadel unter dem Einfluß der Schiffsbewegungen von derselben um den Winkel $\varphi$ ab, so heben sich die beiden Drehungsmomente, einerseits vom Erdmagnetismus herrührend, andererseits von dem ablenkenden Magneten mit dem Moment $\overline{M}$ in der Entfernung $E$, nicht mehr auf, sondern ergeben die Summe:

$$\frac{\partial U}{\partial \varphi} = - M H \sin (R + \varphi) + \frac{2 M \overline{M}}{E^3} F \cos \varphi.$$

$F$ bedeutet eine bekannte Ablenkungsfunktion; $R$ ist definiert durch die Gleichung: $- M H \sin R + \frac{2 M \overline{M}}{E^3} F = 0$. Damit wird die vorhergehende Gleichung zu:

$$\frac{\partial U}{\partial \varphi} = - M H \cos R \sin \varphi. \tag{47}$$

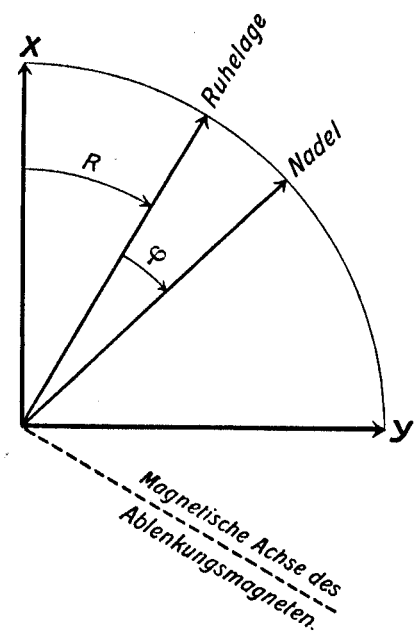



Abbildung 13.

3. und 4. Die belastete Inklinationsnadel, die in der $XZ$-Ebene freischwingt, nimmt bei ruhigem Schiff eine von der wahren Inklinationsrichtung abweichende Ruhelage ein, welche mit der Vertikalen den Winkel $R$ bildet. Unserem Koordinatensystem gemäß mit seinem bestimmten Drehsinn rechnen wir die Inklination von der Vertikalen an und bezeichnen den Winkel, den die beiden letzteren Richtungen miteinander bilden, mit $e$ (Elevation), so daß immer $e + i = 90^0$ ist.

Der Winkel $R$, die Ruhelage bei ruhendem Schiff unter dem gleichzeitigen Einfluß der Schwerkraft und des Erdmagnetismus, ist definiert durch die Gleichung:

$$M\,T \sin(e - R) - mlg \sin R = 0;$$

$T$ bedeutet die Totalintensität, $g$ die Schwerebeschleunigung. Weicht die Nadel um den Winkel $\varphi$ von dieser Ruhelage ab, so ist die Summe der beiden Drehungsmomente dargestellt durch die Gleichung:

$$\frac{\partial U}{\partial \varphi} = M\,T \sin(e - R - \varphi) - mlg \sin(R + \varphi),$$

welche sich unter Berücksichtigung der vorhergehenden Gleichung vereinfacht zu:

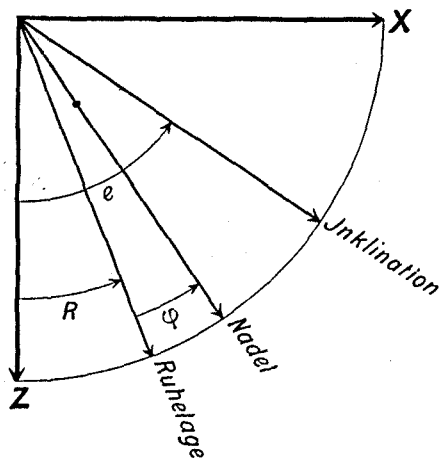


Abbildung 14.

$$(48) \qquad \frac{\partial U}{\partial \varphi} = -\{M\,T \cos(e - R) + mlg \cos R\} \sin \varphi.$$

Vergleichen wir die Gleichungen 46—48, so ergibt sich für alle betrachteten, die freie Koordinate $\varphi$ der Horizontal- oder Inklinationsnadel verkleinernden Kräfte die typische Form:

$$(49) \qquad \boxed{\frac{\partial U}{\partial \varphi} = -d \cdot \sin \varphi.}$$

Die Gleichungen 45 und 49 geben die analytische Darstellung für die verallgemeinerten Kräfte auf die beiden freien Koordinaten $\psi$ und $\varphi$ unsres Systems: „Schiff + Nadel". Dabei hat $d$ in den einzelnen Fällen folgende Bedeutung:

**Bedeutung von $d$ in Gleichung 49.**

| | |
|---|---|
| 1. Deklinationsnadel | $M\,H$ |
| 2. Abgelenkte Horizontalnadel | $M\,H \cos R$ |
| 3. und 4. Inklinationsnadel | $M\,T \cos(e - R) + mlg \cos R$ |

## § 70. Die Differentialgleichung und der Plan ihrer Lösung.

Nunmehr bilden wir nach der bekannten Form $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial p'}\right) - \frac{\partial L}{\partial p} = \frac{\partial U}{\partial p}$ die Differentialgleichungen für unsere beiden freien Koordinaten $\varphi$ und $\psi$ mit Hülfe der Gleichungen 44, 45 und 49. Wir haben:

$$\frac{\partial L}{\partial \psi'} = K\psi' + \mathfrak{k}\,\varphi' \cos(\varphi + \varepsilon) \qquad \frac{\partial L}{\partial \psi} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \varphi'} = k\,\varphi' + \mathfrak{k}\,\psi' \cos(\varphi + \varepsilon) \qquad \frac{\partial L}{\partial \varphi} = -\mathfrak{k}\,\psi'\varphi' \sin(\varphi + \varepsilon).$$

Die Differentialgleichungen lauten demnach zunächst:

$$K\psi'' + \mathfrak{k}\frac{d}{dt}\Big(\varphi' \cos(\varphi+\varepsilon)\Big) = -D\psi$$
$$k\varphi'' + \mathfrak{k}\,\psi'' \cos(\varphi+\varepsilon) = -d \sin\varphi.$$

In der ersten Differentialgleichung repräsentiert $K$ die Massenverhältnisse des Schiffs, $\mathfrak{k}$ diejenigen der Nadel; das Glied mit $\mathfrak{k}$ ist demnach zu vernachlässigen, und wir haben:

$$\psi'' = -s^2\psi, \text{ wo } s^2 = \frac{D}{K}.$$

Die Lösung dieser Differentialgleichung ist bekannt, wir brauchen nur noch die Anfangsbedingungen festzusetzen. Zur Zeit $t_0$ erreiche $\psi$ den größten Ausschlag $A$ in der positiven Richtung von $\psi$ und kehre im selben Augenblick um, also

$$[\psi]_{t=t_0} = A \qquad (50)$$
$$[\psi']_{t=t_0} = 0$$

Unter diesen Bedingungen lautet die Lösung der Gleichung bekanntlich:

$$\psi = A \cos s(t - t_0).$$

Dabei hängt $s$ mit der Periode $P$ der Schiffsschwankungen durch die Beziehung zusammen:

$$s = \frac{2\pi}{P}.$$

Diese Lösung von $\psi$ setzen wir in die Differentialgleichung für $\varphi$ ein und erhalten:

$$\boxed{\varphi'' + n^2 \sin\varphi - c s^2 A \cos s(t - t_0) \cos(\varphi+\varepsilon) = 0} \qquad (51)$$

mit folgenden Abkürzungen: $$n^2 = \frac{d}{k},\ c = \frac{\mathfrak{k}}{k}. \qquad (51a)$$

Die Anfangsbedingungen setzen wir dahin fest, daß $\varphi$ zur Zeit $t = 0$ seinen maximalen Ausschlag $a$ nach der positiven Richtung erreicht habe; also wird

$$[\varphi]_{t=0} = a \qquad (52)$$
$$[\varphi']_{t=0} = 0.$$

Statt des Systems zweier simultaner Differentialgleichungen haben wir jetzt nur eine Gleichung für $\varphi''$ zu lösen, die nur noch $\varphi$ und $t$ enthält. Die Bedeutung der einzelnen Glieder ohne $\varphi''$ ist ohne weiteres klar: das Glied mit $n^2$ repräsentiert das Gesetz der gewöhnlichen, ungedämpften Nadelschwingung bei ruhender Unterlage, das Glied mit $A$ enthält den störenden Einfluß der mit der Amplitude $A$ sich bewegenden Unterlage. Das erste Glied,

welches die Eigenschwingungen der Nadel enthält, ist das Hauptglied; das zweite Glied, welches die erzwungenen Schwingungen der Nadel darstellt, ist das untergeordnete Störungsglied.

Wenn wir uns nun $\varphi$ in eine FOURIERsche Reihe entwickelt denken, so wird dieselbe in 2 Gruppen zerfallen; die erste schwingt mit der Periode der Nadel und enthält nichts vom Schiffseinfluß, die zweite schwingt mit der Periode des Schiffes und stellt nur den Schiffseinfluß dar. Wir denken uns daher $\varphi$ als Summe:

$$\boxed{\varphi = \varphi_n + \varphi_s}$$

und legen den Funktionen $\varphi_n$ und $\varphi_s$ folgende Bedingungen auf:

(53)
$$\boxed{\begin{array}{ll} \text{a.} & \varphi_n \text{ ist von } A \text{ unabhängig,} \\ \text{b.} & \varphi_s \text{ verschwindet mit } A. \end{array}}$$

Unter diesen Bedingungen lösen wir sowohl für $\varphi_n$ wie für $\varphi_s$ die Differentialgleichung 51; dann stellt ihre Summe die gesuchte Lösung von $\varphi$ dar, wofern diese Summe die Anfangsbedingungen 52 erfüllt. Für die Zeit $t=0$ haben wir also mit leicht verständlichen Symbolen:

(54)
$$\text{für } t=0 \qquad \boxed{\begin{array}{c} \varphi_n^0 + \varphi_0^s = a \\ \varphi_n'^0 + \varphi_s'^0 = 0. \end{array}}$$

Nach diesem Plan haben wir statt einer Differentialgleichung zwei zu lösen, deren besondere Form wir jetzt ableiten wollen. In $\varphi_s$ führen wir statt $t$ eine neue Variable $\vartheta$ ein, wo $t$ und $\vartheta$ durch die Beziehung miteinander verbunden sind:

(55)
$$\vartheta = s(t - t_0).$$

Dadurch wird $\varphi_s'' = s^2 \frac{d^2\varphi_s}{d\vartheta^2}$, und wir erhalten für $\varphi_s$ die Differentialgleichung:

(56)
$$\frac{d^2\varphi_s}{d\vartheta^2} + \frac{1}{\lambda} \sin\varphi_s - cA \cos\vartheta \cos(\varphi_s + \varepsilon) = 0;$$

(56a)
$$\text{dabei ist} \qquad \lambda = \frac{s^2}{n^2} = \frac{p^2}{P^2};$$

$p$ ist die Periode der Eigenschwingungen der Nadel, $P$ diejenige der Schiffsschwankung. Dabei hat $\varphi_s$ noch die Bedingung 53b zu erfüllen, hat also die Form $\varphi_s = A\Theta_1 + A^2\Theta_2 + A^3\Theta_3 + \ldots$, wo die $\Theta$ gewisse Funktionen der $\vartheta$ darstellen.

Die Differentialgleichung für $\varphi_n$ lautet zufolge der Vorschrift 53a:

$$\varphi_n'' + n^2 \sin\varphi_n = 0.$$

Sie hat nach 54 folgende Anfangsbedingungen zu befriedigen:

$$\text{für } t=0 \quad \begin{array}{l} \varphi_n^0 = a - \varphi_s^0 \\ \varphi_n'^0 = \ -\varphi_s'^0; \end{array} \tag{57}$$

die Werte $\varphi_s^0$ und $\varphi_s'^0$ ergeben sich aus der Lösung der Differentialgleichung 56 für die Zeit $t=0$.

Eine letzte Vereinfachung führen wir dadurch herbei, daß wir die Größenordnung der beizubehaltenden Potenzen des Winkels $\varphi$ beschränken. In der Hauptfunktion $\varphi_n$ behalten wir die Glieder bis zur 3. Potenz bei und setzen $\sin\varphi_n = \varphi_n - \frac{1}{6}\varphi_n^3$; in der Störungsfunktion $\varphi_s$ wollen wir dagegen nur die Glieder bis zur 2. Potenz berücksichtigen und setzen den bereits mit $A$, einem Faktor von der ersten Potenz, multiplizierten Ausdruck $\cos(\varphi_s + \varepsilon) = \cos\varepsilon - \varphi_s \sin\varepsilon$.

So erhalten unsre beiden Differentialgleichungen folgende endgültige Form:

$$\frac{d^2\varphi_s}{d\vartheta^2} + \frac{1}{\lambda}\varphi_s - cA\cos\varepsilon\cos\vartheta + cA\sin\varepsilon\,\varphi_s\cos\vartheta = 0, \tag{58}$$

$$\frac{d^2\varphi_n}{dt^2} + n^2\left(\varphi_n - \frac{1}{6}\varphi_n^3\right) = 0. \tag{59}$$

## § 71. Lösung der Differentialgleichung für $\varphi_s$.

Der Bedingung 53b zufolge und unsrer Festsetzung der beizubehaltenden Größen gemäß machen wir den Ansatz:

$$\varphi_s = A\Theta_1 + A^2\Theta_2, \tag{60}$$

wo $\Theta_1$, $\Theta_2$ Funktionen von $\vartheta$ bedeuten. Durch Einsetzen in die Differentialgleichung 58 und Nullsetzen der Faktoren von $A$ und $A^2$ erhalten wir die beiden Differentialgleichungen für $\Theta_1$ und $\Theta_2$:

$$\frac{d^2\Theta_1}{d\vartheta^2} + \frac{1}{\lambda}\Theta_1 - c\cos\varepsilon\cos\vartheta = 0$$

$$\frac{d^2\Theta_2}{d\vartheta^2} + \frac{1}{\lambda}\Theta_2 + c\sin\varepsilon\,\Theta_1\cos\vartheta = 0.$$

Die Lösung für $\Theta_1$ läßt sich erraten; sie hat die Form $\Theta_1 = C\cos\vartheta$. $C$ bestimmt sich aus der Gleichung: $-C + \frac{1}{\lambda}C - c\cos\varepsilon = 0$, somit $C = \frac{\lambda}{1-\lambda}c\cos\varepsilon$ und

$$\Theta_1 = \frac{\lambda}{1-\lambda}c\cos\varepsilon\cos\vartheta. \tag{61}$$

Damit wird die Differentialgleichung für $\Theta_2$, wenn wir noch $\cos^2\vartheta$ in $\cos 2\vartheta$ umwandeln:

$$\frac{d^2\Theta_2}{d\vartheta^2} + \frac{1}{\lambda}\Theta_2 + \frac{1}{2}Cc\sin\varepsilon\,(1+\cos 2\vartheta) = 0.$$

Da wir uns auf Glieder 2. Ordnung beschränken wollen, machen wir den Ansatz:

$$\Theta_2 = A_0 + A_1\cos\vartheta + A_2\cos 2\vartheta,$$

setzen denselben in die letzte Differentialgleichung für $\Theta_2$ ein und ermitteln die unbestimmten Koeffizienten, indem wir die Faktoren von $\cos h\vartheta_{\ h=0,1,2}$ gleich Null setzen. Wir erhalten so folgende Gleichungen für die $A_h$:

$$\frac{1}{\lambda} A_0 + \frac{1}{2} c\, C \sin \varepsilon = 0$$

$$-A_1 + \frac{1}{\lambda} A_1 \qquad = 0$$

$$-4\, A_2 + \frac{1}{\lambda} A_2 + \frac{1}{2} C\, c \sin \varepsilon = 0.$$

Mittels der ohne weiteres sich ergebenden Werte der $A_h$ folgt als Lösung von $\Theta_2$:

(62) $$\Theta_2 = -\frac{1}{2} \lambda\, c\, C \sin \varepsilon - \frac{\lambda\, c\, C \sin \varepsilon}{2\,(1-4\,\lambda)} \cos 2\vartheta.$$

So ergibt sich den Gleichungen 60, 61 und 62 zufolge als Lösung von $\varphi_s$, welche die Bedingung 53 b erfüllt:

$$\varphi_s = C_0 + C_1 \cos \vartheta + C_2 \cos 2\vartheta,$$

wobei die $C_h$ folgende Bedeutung haben:

(63) $$C_0 = -\frac{\lambda^2}{4\,(1-\lambda)} A^2 c^2 \sin 2\varepsilon$$

$$C_1 = +\frac{\lambda}{1-\lambda} A c \cos \varepsilon$$

$$C_2 = -\frac{\lambda^2}{4\,(1-\lambda)\,(1-4\,\lambda)} A^2 c^2 \sin 2\,\varepsilon.$$

Dabei ist $A$ durch Gleichung 50, $\lambda$ durch Gleichung 56a, $c$ und $\varepsilon$ durch Gleichung 51a und System 44a definiert. Wir substituieren in der Lösung von $\varphi_s$ $t$ statt der Variablen $\vartheta$ nach Gleichung 55 und haben:

(64) $$\boxed{\varphi_s = C_0 + C_1 \cos s\,(t-t_0) + C_2 \cos 2\,s(t-t_0).}$$

Diese Gleichung stellt die Lösung der Differentialgleichung 51 unter Erfüllung der Forderung 53b dar. Für die Anfangsbedingungen 57 brauchen wir noch die Werte von $\varphi_s$ und $\varphi'_s$ für $t=0$; sie ergeben sich folgendermaßen:

für $t=0$ ist $\varphi_s^0 = C_0 + C_1 \cos s t_0 + C_2 \cos 2\,s t_0$

(64a) $$\varphi_s'^0 = s\,(C_1 \sin s t_0 + 2\,C_2 \sin 2\,s t_0).$$

In den letzten Gleichungen kann überall $s$ durch $\frac{2\pi}{P}$ ersetzt werden, wo $P$ die Periode der Schiffsschwankungen bedeutet.

## § 72. Lösung der Differentialgleichung für $\varphi_n$.

Nunmehr haben wir noch die Differentialgleichung für $\varphi_n$ zu lösen, nämlich

$$\frac{d^2\varphi_n}{dt^2} + n^2\left(\varphi_n - \frac{1}{6}\varphi_n^3\right) \tag{65a}$$

mit den Anfangsbedingungen für $t=0$:

$$\begin{aligned} \varphi_n^0 &= a - \varphi_s^0 \\ \varphi_n'^0 &= -\varphi_s'^0. \end{aligned} \tag{65b}$$

Um einen der Gleichung 60 analogen Ansatz machen zu können, formen wir die Gleichungen 65a und 65b so um, daß eine Größe der Anfangsbedingungen verschwindet. Wir bestimmen hierzu zunächst den Moment $\bar{t}$, wo $\varphi_n$ sein 1. Maximum erreicht, und zwar genügt hierzu die vereinfachte Gleichung:

$$\frac{d^2\varphi_n}{dt^2} + n^2\varphi_n = 0,$$

deren vollständige Lösung mit den Anfangsbedingungen 65b bekanntlich lautet:

$$\varphi_n = (a - \varphi_s^0)\cos nt - \frac{1}{n}\varphi_s'^0 \sin nt.$$

Das 1. Maximum $\bar{\varphi}_n$ dieser Funktion und dessen Zeit $\bar{t}$ bestimmt sich aus den beiden Gleichungen:

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}_n &= (a - \varphi_s^0)\cos n\bar{t} - \frac{1}{n}\varphi_s'^0 \sin n\bar{t} \\ 0 &= n(a - \varphi_s^0)\sin n\bar{t} + \varphi_s'^0 \cos n\bar{t}. \end{aligned} \tag{66}$$

Durch Quadrieren und Addieren folgt daraus das gesuchte $\bar{\varphi}_n$:

$$\bar{\varphi}_n^2 = (a - \varphi_s^0)^2 + \frac{1}{n^2}(\varphi_s'^0)^2.$$

$\varphi_s^0$ und $\varphi_s'^0$ sind gegenüber $a$ Störungsglieder, wir dürfen also setzen:

$$\bar{\varphi}_n = (a - \varphi_s^0)\left\{1 + \frac{1}{2n^2}\left(\frac{\varphi_s'^0}{a - \varphi_s^0}\right)^2\right\}. \tag{67}$$

Aus demselben Grund dürfen wir der 2. Gleichung 66 zufolge den Winkel $n\bar{t}$ als kleine Größe 1. Ordnung ansehen.

Nunmehr führen wir in 65a eine neue Variable $\tau$ ein, die folgendermaßen bestimmt ist:

$$\tau = \frac{2\pi}{p}(t - \bar{t}); \tag{68}$$

$p$ bedeutet die Schwingungsdauer der Eigenschwingung der Nadel und steht mit der Konstanten der Differentialgleichung 65a bekanntlich in folgendem Zusammenhang:

(68a) $$\left(\frac{2\pi}{p}\right)^2 = n^2(1 - k\overline{\varphi}_n^2),$$

wo $k$ ein Zahlenfaktor ist, der sich aus der Integration ergeben wird. Durch die Substitution 68 erhalten wir statt 65a die Gleichung:

(69a) $$\frac{d^2\varphi_n}{d\tau^2}(1 - k\overline{\varphi}_n^2) + \varphi_n - \frac{1}{6}\varphi_n^3 = 0$$

mit den Anfangsbedingungen für $\tau = 0$: $(\varphi_n)_{\tau=0} = \overline{\varphi}_n$

(69b) $$(\varphi_n')_{\tau=0} = 0.$$

Damit haben wir die gewünschte Umformung erreicht und können zur Lösung der Differentialgleichung 69a nunmehr den Ansatz machen:

(70) $$\varphi_n = \varphi_n T_1 + \overline{\varphi}_n^3 T_3,$$

wo $T_h$ Funktionen von $\tau$ darstellen. Vermöge der Gleichungen 69b erhalten wir für die $T_h$ folgende Anfangsbedingungen:

(71) $$[T_1]_{\tau=0} = 1, \quad [T_3]_{\tau=0} = 0, \quad \left[\frac{dT_1}{d\tau}\right]_{\tau=0} = 0, \quad \left[\frac{dT_3}{d\tau}\right]_{\tau=0} = 0.$$

Wir setzen den Ansatz 70 in Gleichung 69a ein und vernachlässigen alle Glieder mit höheren Potenzen als 3; indem wir dann die Faktoren von $\overline{\varphi}_n$ und $\overline{\varphi}_n^3$ gleich Null setzen, erhalten wir folgende Differentialgleichungen für die $T_h$:

$$\frac{d^2 T_1}{d\tau^2} + T_1 = 0$$

$$\frac{d^2 T_3}{d\tau^2} + T_3 - k\frac{d^2 T_1}{d\tau^2} - \frac{1}{6}T_1^3 = 0.$$

Die Lösung von $T_1$ lautet vermöge der Anfangsbedingungen 71: $T_1 = \cos\tau$; indem wir diese Lösung in die Gleichung für $T_3$ unter gleichzeitiger Umwandlung der Potenz vom Kosinus des einfachen Winkels in den Kosinus des vielfachen Winkels einsetzen, erhalten wir folgende Differentialgleichung:

$$\frac{d^2 T_3}{d\tau^2} + T_3 + \left(k - \frac{1}{8}\right)\cos\tau - \frac{1}{24}\cos 3\tau = 0.$$

Der Ansatz $T_3 = a_0 + a_1\cos\tau + a_3\cos 3\tau$ ergibt vermöge der Anfangsbedingung $[T_3]_{\tau=0} = 0$ die Bedingung: $a_0 + a_1 + a_3 = 0$. Hierzu ergeben sich durch Einsetzen des Ansatzes in die Differentialgleichung und Nullsetzen der Faktoren von $\cos h\tau_{h=0,1,3}$ folgende weiteren Bedingungen:

$$a_0 = 0, \quad k = \frac{1}{8}, \quad a_3 = -\frac{1}{8\cdot 24}.$$

So wird $T_3 = \frac{1}{8 \cdot 24}(\cos\tau - \cos 3\tau)$, und damit haben wir nach Gleichung 70 folgende Lösung für $\varphi_n$ gefunden:

$$\varphi_n = \bar{\varphi}_n \cos\tau + \bar{\varphi}_n^3 \frac{1}{8 \cdot 24}(\cos\tau - \cos 3\tau). \tag{72}$$

Wenn wir hierin wieder $\tau$ durch $t$ ersetzen, so wird das 1. Glied:

$$\bar{\varphi}_n \cos\tau = \bar{\varphi}_n \cos\frac{2\pi}{p}\bar{t} \cos\frac{2\pi}{p}t + \bar{\varphi}_n \sin\frac{2\pi}{p}\bar{t} \sin\frac{2\pi}{p}t.$$

Die Faktoren von $\cos\frac{2\pi}{p}t$ und $\sin\frac{2\pi}{p}t$ folgen aus System 66 bis auf zu vernachlässigende Größen in der Form:

$$\bar{\varphi}_n \cos\frac{2\pi}{p}\bar{t} = a - \varphi_s^0$$

$$-\bar{\varphi}_n \sin\frac{2\pi}{p}\bar{t} = \frac{1}{n}\varphi_s'^0.$$

In dem Glied mit $\varphi_n^3$ unserer Lösung 72 dürfen wir dagegen zufolge unserer Bemerkung bei Gleichung 67 $\bar{\varphi}_n^3 = (a - \varphi_s^0)^3$ und $\tau = t$ setzen. So erhalten wir unsere Lösung 72 in der Form:

$$\varphi_n = (a - \varphi_s^0)\cos\frac{2\pi}{p}t - \frac{1}{n}\varphi_s'^0 \sin\frac{2\pi}{p}t + \frac{(a - \varphi_s^0)^3}{8 \cdot 24}\left(\cos\frac{2\pi}{p}t - \cos 3\frac{2\pi}{p}t\right)$$

oder

$$\boxed{\varphi_n = c_1 \cos\frac{2\pi}{p}t + s_1 \sin\frac{2\pi}{p}t + c_3 \cos 3\frac{2\pi}{p}t.} \tag{73}$$

Dabei ist

$$\begin{aligned} c_1 &= (a - \varphi_s^0)\left\{1 + \frac{1}{8 \cdot 24}(a - \varphi_s^0)^2\right\} \\ s_1 &= -\frac{1}{n}\varphi_s'^0 \\ c_3 &= -\frac{1}{8 \cdot 24}(a - \varphi_s^0)^3. \end{aligned} \tag{74}$$

Diese Gleichung stellt die Lösung der Differentialgleichung 51 unter Erfüllung der Forderung 53a dar. Um noch einmal an die Bedeutung der im System 74 enthaltenen Größen zu erinnern, so ist $a$ diejenige Amplitude unserer Nadelschwingung, mit welcher wir den Versuch beginnen; $\varphi_s^0$ und $\varphi_s'^0$ sind durch das System 64a, $n$ durch 51a bzw. 68a definiert.

## § 73. Lösung der Differentialgleichung der schwingenden Magnetnadel auf schwankendem Schiffe bis zu den Gliedern 3. Ordnung.

Fassen wir die Entwicklungen dieses Abschnitts mit ein paar Worten zusammen, so haben wir in der Differentialgleichung 51 das Gesetz aufgestellt, nach welchem die ungedämpften

Nadelschwingungen bei einfach harmonischen Schiffsschwankungen sich abspielen. Dabei betrachten wir als Hauptbestandteil des ganzen Schwingungsvorgangs die Eigenschwingungen der Nadel, denen sich als Störungsglieder 1. Ordnung gewisse aus den Schiffsschwankungen folgende erzwungene Schwingungen überlagern. Wenn wir als mathematische Form der Funktion $\varphi$, welche den Winkel zwischen der augenblicklichen Richtung der Nadel und ihrer idealen Ruhelage bei ruhendem Schiff angibt, die FOURIERsche Reihe wählen, so werden die sie bildenden harmonischen Funktionen in 2 verschiedene Gruppen zerfallen. Die erste Gruppe schwingt lediglich nach dem Rhythmus der Eigenschwingungen, die zweite lediglich nach demjenigen der Schiffsschwankungen; die erste Gruppe ist vollständig unabhängig von der Größe der Schiffsschwankungen, die zweite verschwindet mit den letzteren vollständig. Wir lösten die Differentialgleichung 51 zweimal, zuerst nur mit der einen, sodann nur mit der andern dieser beiden Voraussetzungen. Es ergaben sich 2 verschiedene Lösungen $\varphi_n$ und $\varphi_s$, von denen die erste nur die Eigenschwingungen, die zweite nur die erzwungenen Schwingungen darstellt. Die Summe $\varphi_n + \varphi_s$ stellt dann die gesuchte Gesamtlösung dar, wenn sie für $t = 0$ die Anfangsbedingungen 52 des Problems erfüllt. Unsere Lösung ist eine angenäherte, insofern sie alle Größen von der 4. und höheren Potenz der Amplitude der Nadelschwingungen außer acht läßt.

Die im vorstehenden gekennzeichnete Funktion $\varphi$ hat nach den Ergebnissen der beiden letzten Paragraphen folgende Form:

$$\boxed{\begin{aligned}\varphi = \; & c_1 \cos \frac{2\pi}{p} t + s_1 \sin \frac{2\pi}{p} t + c_3 \cos 3 \frac{2\pi}{p} t \\ & + C_0 + C_1 \cos \frac{2\pi}{P}(t - t_0) + C_2 \cos 2 \frac{2\pi}{P}(t - t_0).\end{aligned}} \tag{75}$$

Die Koeffizienten der trigonometrischen Funktionen sind durch die Gleichungen 74, 64a und 63 definiert. Man überzeugt sich leicht, daß die Gleichung 75 die Anfangsbedingungen 52 erfüllt. Möglicherweise sind die höheren Glieder nicht ganz vollständig; doch legen wir darauf keinen Wert, weil von der ganzen komplizierten Annäherungslösung fernerhin nur die eine Größe $C_0$ unser Hauptinteresse in Anspruch nehmen wird.

## III. Abschnitt. Die zufälligen und konstanten Störungen infolge der Schiffsschwankungen. Die dynamische Deviation und ihre Bestätigung durch die Erfahrung.

### § 74. Zufällige und konstante Störungen der Nadelschwingungen an Bord.

Hätten wir es mit einer normalen ungedämpften Nadelschwingung etwa an Land oder bei ruhendem Schiff zu tun, so würden in unserer Funktion $\varphi$ von Gleichung 75 alle mit großen Buchstaben bezeichneten Faktoren verschwinden, ebenso in den mit kleinen Buchstaben bezeichneten Faktoren diejenigen Bestandteile, welche von $\varphi_s$ herrühren. Die so reduzierte Funktion[1]) stellt dann die normale ungedämpfte Nadelschwingung dar, welche zur Zeit $t = 0$ mit ihrem größten Ausschlag $a$ beginnt. Jede durch die Schiffsbewegung verursachte Ver-

[1]) Siehe Gleichung 77.

änderung dieser Funktion bezeichnen wir als Störung, die hinzukommenden Glieder als Störungsglieder.

Die in den Störungsgliedern auftretenden Größen, welche den Einfluß der Schiffsbewegung charakterisieren, sind die Amplitude $A$ und die Periode $P$ der Schiffschwankungen, außerdem die durch $t_0$ definierte Phasendifferenz der beiden Schwingungsarten bei ihrem Beginn, indem nämlich das Instrument zur Zeit $t=o$, das Schiff zur Zeit $t=t_0$ seine Schwingung je mit dem größten Ausschlag auf der positiven Seite beginnt; hierzu kommt noch bei der Rollbewegung der Abstand $e$ zwischen Beobachtungsplatz und Metazentrum. Ihrem Wesen nach können wir diese Größen in konstante und zufällige unterscheiden; als konstant setzen wir $A$, $P$ und $e$ voraus, wie ja in praxi $P$ und $e$ fast ganz konstant sind, während $A$ wenigstens innerhalb der Zeit einer Beobachtung einem mittleren Werte sehr nahe bleibt; als zufällig sehen wir die Phasendifferenz beider Schwingungsarten beim Beobachtungsanfang an.

Dementsprechend wird auch die normale Nadelschwingung zweierlei Arten von Störungen erleiden, konstante und zufällige Störungen. Die konstanten Störungsglieder sind von den ebengenannten konstanten Größen abhängig und rühren nur von der Größe $C_0$ her, während die übrigen großen $C$, soweit sie in Gleichung 75 explicite oder implicite vorkommen, immer als Faktoren einer periodischen Funktion der zufälligen Phasendifferenz auftreten. Dadurch werden alle diese letzteren Glieder unserer Funktion zufällige Störungsglieder und nehmen bei allen möglichen Phasendifferenzen alle möglichen Werte zwischen einem Minimum und Maximum an, während ihr Mittelwert verschwindet.

In der Praxis haben wir es in der Tat mit einer Kombination von allen möglichen Phasendifferenzen zu tun, da die Schiffsschwankungen selber vielfachen Störungen durch Wind und Wellen ausgesetzt sind und daher, mathematisch ausgedrückt, ihre Anfangsbedingungen sehr häufig wechseln. So können schon in einer einzelnen zusammenhängenden Beobachtungsreihe von Umkehrpunkten oder Durchgangszeiten der Nadel verschiedene Anfangsphasen der Schiffsbewegung wirksam werden. Insbesondere aber ist dies bei jeder vollständigen Messung eines Elements der Fall, da sich dieselbe aus einer großen Anzahl solcher Einzelreihen zusammensetzt, von denen jede bei irgendeiner beliebigen Phase der Schiffsbewegung beginnt. Wir werden uns daher im Folgenden nicht mit irgendeinem einzelnen, durch ein bestimmtes $t_0$ definierten Schwingungszustand der Nadel beschäftigen, sondern uns auf die Untersuchung des mittleren Schwingungsverlaufs beschränken.

## § 75. Der mittlere Verlauf der Nadelschwingungen an Bord und seine charakteristischen Unterschiede gegenüber dem normalen Verlauf an Land.

Wir erhalten bei konstantem $A$, $P$ und $e$ die verschiedensten Ablaufsweisen einer Nadelschwingung an Bord, wenn wir dieselbe bei allen möglichen Phasen der Schiffsbewegung beginnen lassen, wenn wir also dem Wert $t_0$ in Gleichung 75 alle möglichen Werte zwischen 0 und $P$ erteilen. Den mittleren Verlauf der Nadelschwingungen erhalten wir dann aus dem Mittelwert dieser unendlich vielen verschiedenen Funktionen $\varphi$; er ergibt sich durch Multiplikation der Gleichung 75 mit $\frac{dt_0}{P}$ und Integration zwischen den Grenzen $t_0 = 0$ und $t_0 = P$.

Wenn wir diese mittlere Funktion mit $\mathfrak{M}(\varphi)$ bezeichnen, so lautet sie nach Gleichung 75:

$$\mathfrak{M}(\varphi) = \frac{1}{P}\cos\frac{2\pi}{p}t\int_0^P c_1\,dt_0 + \frac{1}{P}\sin\frac{2\pi}{p}t\int_0^P s_1\,dt_0 + \frac{1}{P}\cos 3\,\frac{2\pi}{p}t\int_0^P c_3\,dt_0$$
$$+ C_0 + \frac{C_1}{P}\int_0^P \cos\frac{2\pi}{P}(t-t_0)\,dt_0 + \frac{C_2}{P}\int_0^P \cos 2\,\frac{2\pi}{P}(t-t_0)\,dt_0.$$

Man überzeugt sich leicht, daß alle Integrale außer denen mit $c_1$ und $c_3$ verschwinden. Nach ihrer Definition durch Gleichung 74 wird der Mittelwert dieser letzteren Funktionen:

$$\frac{1}{P}\int_0^P c_1\,dt_0 = (a - C_0)\left\{1 + \frac{1}{8\cdot 24}(a - C_0)^2\right\}$$
$$\frac{1}{P}\int_0^P c_3\,dt_0 = -\frac{1}{8\cdot 24}(a - C_0)^3.$$

Somit erhalten wir die gesuchte Funktion $\mathfrak{M}(\varphi)$ in der Form:

$$(76)\quad \boxed{\mathfrak{M}(\varphi) = C_0 + (a - C_0)\cos\frac{2\pi}{p}t + \frac{1}{8\cdot 24}(a - C_0)^3\left\{\cos\frac{2\pi}{p}t - \cos 3\,\frac{2\pi}{p}t\right\}.}$$

Diese Funktion hat für die Praxis der Bordbeobachtungen eine hervorragende Bedeutung: da die Nadel in fortwährenden, scheinbar regellosen Schwankungen begriffen ist, können wir die gesuchte Richtung, Schwingungsdauer oder Schwingungsweite der Nadel nur dadurch finden, daß wir durch Schätzung oder durch ein besonderes Beobachtungsverfahren aus vielen Einzelbeobachtungen die Mittelwerte jener Größen bestimmen; das Gesetz, dem diese Mittelwerte folgen, ist in Gleichung 76 enthalten, sofern wir die Schiffsschwankungen durch einfach periodische, ungedämpfte Schwingungen darstellen dürfen.

Insbesondere können wir nunmehr die fundamentale Frage beantworten, inwieweit sich dieser mittlere Verlauf der Nadelschwingung an Bord von dem normalen Verlauf derselben an Land unterscheidet. Zu diesem Zweck schreiben wir vorerst noch die Funktion an, welche den normalen Verlauf darstellt. Wir erhalten sie offenbar, wenn wir in allen Koeffizienten von Gleichung 75 die Schiffsamplitude $A = 0$ setzen; wir bezeichnen sie als „normale" Funktion mit $\varphi_0$ und erhalten, da alle großen $C$ und in den klein geschriebenen Koeffizienten alle von $\varphi_0$ abhängigen Glieder verschwinden:

$$(77)\qquad \varphi_0 = a\cos\frac{2\pi}{p}t + \frac{1}{8\cdot 24}a^3\left(\cos\frac{2\pi}{p}t - \cos 3\,\frac{2\pi}{p}t\right).$$

Ein Vergleich der beiden Funktionen 76 und 77 beantwortet die gestellte Frage; wie man sieht, unterscheiden sie sich nur durch die Größe $C_0$, welche mit ihren Bestandteilen durch die Gleichungen 63, 56*a*, 51*a*, 44*a* definiert ist; sie verschwindet mit der Größe $l$, der Entfernung zwischen Drehpunkt und Schwerpunkt der Nadel. Wir können demnach das Resultat unsres Vergleichs in folgende drei kurze Sätze zusammenfassen:

**Der Schwingungsverlauf eines jeden Körpers, dessen Schwerpunkt außerhalb seines Drehpunkts liegt, erleidet an Bord eines schwankenden Schiffes gegenüber dem normalen Verlauf an Land im allgemeinen folgende konstante Veränderungen:**

1. **Die mittlere Mittellage weicht um eine konstante Größe von der normalen Ruhelage ab.**
2. **Die mittlere (einfache) Schwingungsweite erscheint an Bord um denselben Betrag gegenüber der normalen Schwingungsweite verändert.**
3. **Die Schwingungsdauer bleibt unverändert, soweit sie nicht von der Schwingungsweite abhängig ist.**

Abbildung 15 will diese Verhältnisse veranschaulichen.

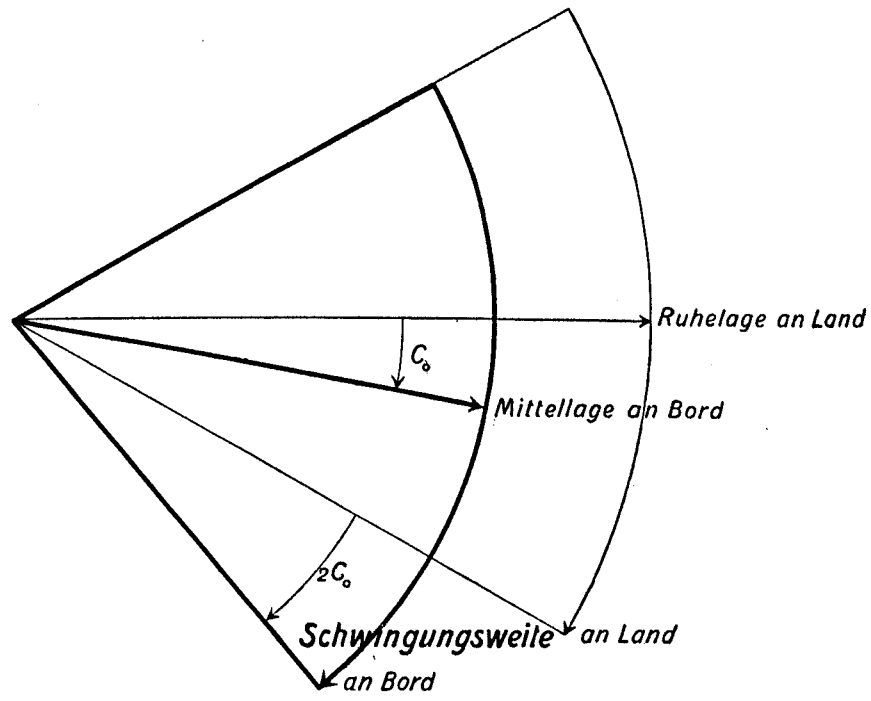


Abbildung 15.

Das wichtigste Ergebnis ist offenbar in Satz 1 enthalten. In den meisten Fällen dient uns ja der drehbare Körper dazu, die Richtung derjenigen Kraft zu bestimmen, die ihm unter normalen Verhältnissen eine bestimmte Ruhelage zuweisen würde, bei den magnetischen Instrumenten z. B. die Richtung der magnetischen Kraftlinien. Was wir wollen, ist die Ruhelage der Kraftlinien; was wir bekommen, ist die davon abweichende Mittellage der Nadel. Damit ist eine neue Art von Schiffsdeviationen gekennzeichnet, die sich nicht auf magnetische Instrumente und auf eisenhaltige Schiffe beschränkt, die vielmehr lediglich aus der Dynamik der Schiffsbewegung folgt und jeden schwingenden Körper mit exzentrischem Schwerpunkt trifft. Man kann sie im Unterschied zur magnetischen Deviation die dynamische Deviation nennen. Es wird die Aufgabe der folgenden Paragraphen sein, die Faktoren und die Größenordnung dieser Deviation bei den üblichen magnetischen Bordinstrumenten im einzelnen zu untersuchen.

Gegenüber der Abweichung von Ruhelage und Mittellage spielt die Veränderung der Schwingungsweite eine geringere Rolle. Doch haben uns schon die Erfahrungen des letzten Kapitels in § 64 auf einen störenden Einfluß der Schwingungsweite geführt und es wahrscheinlich gemacht, daß dieselbe auf den Zwischenkursen mehr gestört ist, als auf den Hauptkursen; vgl. Seite 272 mit Fußnote. Diese Erfahrung steht mit unserer Theorie in vollständigem Einklang; nach Gleichung 63 enthält die Größe $C_0$, welche die dynamische Veränderung der Schwingungsweite verursacht, den Faktor $\sin 2\zeta$, wo $\zeta$ den magnetischen Kurs bedeutet. Dieser Faktor nimmt in der Tat auf den Zwischenkursen NO, SO, SW, NW seine extremen Werte an.

## § 76. Allgemeine Eigenschaften der dynamischen Deviation.

Wir wollen uns nun durch Diskussion der Größe $C_0$, welche sowohl die Abweichung zwischen Mittellage an Bord und normaler Ruhelage, als auch die dynamische Veränderung der Schwingungsweite angibt, einen näheren Einblick in die Hauptfaktoren der dynamischen Deviation verschaffen. Nach Gleichung 63 ist

$$C_0 = -\frac{\lambda^2}{4(1-\lambda)} A^2 c^2 \sin 2\varepsilon.$$

Dabei ist $\lambda$ definiert durch: $\lambda = \frac{p^2}{P^2}$, wo $p$ bzw. $P$ die (volle) Periode der Eigenschwingung von Nadel bzw. Schiff darstellt; $A$ bedeutet die halbe Amplitude der Schiffsbewegung und zwar einen Winkel beim Rollen, eine Länge bei der Vertikalschwankung des Schiffes. $c$ ist definiert durch: $c = \frac{\mathfrak{k}}{k}$, wobei $k$ das Trägheitsmoment der Nadel um ihren natürlichen Drehpunkt bedeutet. Endlich sei die Bedeutung von $\mathfrak{k}$ und $\varepsilon$ nach dem System 44a noch einmal wiederholt:

| Einzelfälle | $\varepsilon$ | $\mathfrak{k}$ |
|---|---|---|
| 1. Horizontalnadel beim Rollen | $-\zeta$ | $+mle$ |
| 2. Abgelenkte Hor.-Nadel beim Rollen | $R-\zeta$ | $+mle$ |
| 3. Inklinationsnadel beim Rollen | $R$ | $-mle \sin\zeta$ |
| 4. Inklin.-Nadel bei Vertikalschwankungen | $R+\frac{1}{2}\pi$ | $+ml$ |

$\zeta$ = magnetischer Kurs

$R$ = Ruhelage der Nadel
bei Hor.-Nadel gerechnet von magnetisch Nord,
bei Inkl.-Nadel gerechnet von der abwärts zeigenden Vertikalen

$m$ = Masse der Nadel
$l$ = Abstand zwischen Schwerpunkt und Drehpunkt
$e$ = Abstand zwischen Beobachtungsplatz und Metazentrum.

Mit diesen Werten stellen wir $C_0$ in folgender Form dar, indem wir ihre Zusammensetzung aus fünf verschiedenartigen Faktoren andeuten:

$$C_0 = -\frac{1}{4}\left(f_1 \frac{A}{P}\right)^2 \left(\frac{p^2 ml}{k}\right)^2 \frac{1}{P^2-p^2} (f_2 \sin 2\varepsilon). \tag{78}$$

$f_1$ ist $= e$ in den Fällen 1—3, $= 1$ im Fall 4; $f_2$ ist $= \sin^2\zeta$ im Fall 3, sonst immer $= 1$. Wenn wir von dem unwesentlichen Zahlenfaktor absehen, so haben wir nach Gleichung 78 folgende

**Hauptfaktoren der dynamischen Deviation:**

**1.** Der Ausdruck $\frac{f_1 A}{P}$ stellt einen reinen Einfluß der Schiffsbewegung dar: $4 f_1 A$ ist nämlich der Weg, den der Beobachtungsplatz bei einer vollen Schiffsschwankung irgendwelcher

Art ausführt, $P$ die Zeit, die dazu nötig ist, und $\frac{4 f_1 A}{P}$ bekanntlich die mittlere absolute Geschwindigkeit des Beobachtungsplatzes infolge der Schiffsschwankungen; wir können also sagen:

Die dynamische Deviation ist proportional dem Quadrat der mittleren absoluten Geschwindigkeit, welche der Beobachtungsplatz an Bord infolge der Schiffsschwankungen erhält.

**2.** Der folgende Faktor $\left(\frac{p^2 ml}{k}\right)^2$ enthält einen reinen Einfluß der instrumentellen Anordnungen. Bekanntlich ist $\frac{p^2}{k} = \frac{4\pi^2}{D}$, wo $D$ die Direktionskraft bedeutet, welche den beweglichen Körper richtet. Wir können also unsern Faktor in der Form schreiben: $\left(\frac{p^2 ml}{k}\right)^2 = 16\pi^4 \left(\frac{ml}{D}\right)^2$ und sagen, indem wir unter dem Produkt $ml$ „die Exzentrizität des Schwerpunktes" verstehen:

Die dynamische Deviation eines frei schwingenden Körpers ist proportional dem Quadrat der Exzentrizität seines Schwerpunkts und umgekehrt proportional dem Quadrat seiner Direktionskraft.

**3.** Der folgende Faktor stellt den Einfluß des Unterschieds der Schwingungsdauern von Schiff und Nadel dar. Da $P^2 - p^2 = (P-p)\,(P+p)$, so können wir die Bedeutung unsers Faktors folgendermaßen in Worte fassen:

Die dynamische Deviation ist um so geringer, je verschiedener die Schwingungsdauern von Schiff und Nadel voneinander sind und je langsamer dabei die beiden Schwingungsarten sich abspielen.

**4.** Der letzte Faktor von 78 enthält den Einfluß der verschiedenen Stellungen von Schiff und Nadel. Bei der Horizontalnadel, mag sie abgelenkt sein oder nicht, bedeutet $\varepsilon$ offenbar den Winkel zwischen der magnetischen Achse der Nadel bei ihrer idealen Ruhelage und zwischen der Längsachse des Schiffs; bei der Inklinationsnadel ist die auf Seite 296 angegebene Bedeutung von selbst klar. Unser Faktor sagt also:

Die dynamische Deviation erreicht ihr Maximum: bei der Horizontalnadel, wenn dieselbe unter 45° gegen die Mittschiffslinie, bei der Inklinationsnadel, wenn dieselbe unter 45° gegen die Vertikale geneigt ist; sie verschwindet: bei der Horizontalnadel, wenn sie längsschiffs oder querschiffs, bei der Inklinationsnadel, wenn sie wagrecht oder senkrecht steht.

Unser Faktor entscheidet auch über den Sinn der dynamischen Ablenkung. Wenn wir voraussetzen, daß die Nadel schneller schwingt als das Schiff, was in der Regel der Fall sein wird, so sind alle anderen Faktoren von $C_0$ positiv. Das Vorzeichen von $-\sin 2\varepsilon$ ist daher das Vorzeichen von $C_0$ und entscheidet über den Sinn der dynamischen Deviation. Wenn wir uns mit der oben wiedergegebenen Bedeutung von $\varepsilon$ die einzelnen Fälle überlegen, so ergibt sich unter der Voraussetzung, daß die Nadel schneller schwingt als das Schiff, folgendes Resultat:

die Horizontalnadel wird stets nach längsschiffs abgelenkt,

die Inklinationsnadel wird beim Rollen stets nach der Vertikalen, bei den Vertikalschwankungen des Schiffs stets nach der Horizontalen abgelenkt.

**5.** Endlich erscheint es interessant, einige Größen hervorzuheben, welche der Ausdruck für $C_0$ nicht enthält; $C_0$ ist gänzlich unabhängig von der Schwingungsweite $a$ der Nadel, sowie von $t$ und $t_0$. Es kann also der Fall eintreten, daß in Gleichung 75 alle Glieder außer $C_0$ verschwinden, und wir dürfen sagen:

Die dynamische Deviation ist unabhängig von dem Schwingungszustand der Nadel an Bord; sie tritt insbesondere auch dann ein, wenn die Nadel an Bord nur wenig oder gar nicht schwingt.

Wir wollen zum Schluß noch hervorheben, daß wir den Einfluß einer dämpfenden, die Nadel beruhigenden Kraft nicht mit untersucht haben; es ist jedoch nicht anzunehmen, daß eine solche Kraft Änderungen wesentlicher Natur verursachen würde.

Wir gehen nunmehr dazu über, diese allgemeinen Betrachtungen auf unsre speziellen Instrumente anzuwenden und numerische Werte der dynamischen Deviation abzuleiten. Nach den Auseinandersetzungen dieses Paragraphen erhalten wir folgende Übersicht über die Hauptfaktoren der dynamischen Deviation: abgesehen von dem Zahlenfaktor $4\pi^4$ setzt sie sich zusammen aus

$$
\begin{aligned}
&\text{1. Schiffsfaktor} && S = \left(\frac{Ae}{P}\right)^2 \\
&\text{2. Instrumentenfaktor} && I = \left(\frac{ml}{D}\right)^2 \\
(79)\qquad &\text{3. Periodenfaktor} && P_p = \frac{1}{P^2 - p^2} \\
&\text{4. Lagenfaktor:} && L = -\sin^2 \zeta^{1)} \sin 2\varepsilon.
\end{aligned}
$$

## § 77. Die dynamische Deviation von Kompaß und Horizontalnadel an Bord des „Gauss".

Annahmen für den Schiffsfaktor. Wir legen unsern numerischen Berechnungen mittlere Verhältnisse vom „Gauss" zugrunde. Die volle Schwingungsdauer ($P$) des „Gauss" betrug etwa 9 sec. Die maximale Verrückung ($Ae$) des Beobachtungsplatzes beim Rollen, gerechnet von seiner normalen Ruhelage bis zu einem Umkehrpunkt, nehmen wir zu 75 cm an. Also wird der Schiffsfaktor des Rollens $S_r = 8{,}3^2$, oder zusammen mit dem Zahlenfaktor:

$$4\pi^4 S_r = 2{,}68 \cdot 10^4 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-2}.$$

Die obige Verrückung von 75 cm entspricht einer (halben) Amplitude des Rollens von etwa 7°, einem Wert, der vom „Gauss" sehr oft erreicht und überschritten worden ist; das Metazentrum lag nämlich einer in der Schiffsbaukunde üblichen Annäherungsberechnung zufolge in der Nähe der Wasserlinie, und unser Beobachtungsplatz an Bord etwa 6 m über der Wasser-

1) Nur im Fall 3, sonst = 1.

linie. Dabei ist zu bemerken, daß bei andern Schiffen die Amplitude des Kompaßorts den obigen Wert von 75 cm vielfach beträchtlich überschreitet, da der Kompaßort wegen des Schiffseisens meist möglichst hoch gelegen ist.

Instrumentenfaktor. Jeder Kompaß und jede Horizontalnadel hat notwendig einen exzentrischen Schwerpunkt. Das Maß dieser Exzentrizität $ml$ hängt mit dem magnetischen Moment $M$ und der Vertikalintensität $V$ durch die Gleichung: $mlg = MV$ zusammen. Andererseits ist die Direktionskraft $D$ in unserem Fall: $D = MH$.

Infolgedessen wird unser Instrumentenfaktor

$$I = \left(\frac{tg\, i}{g}\right)^2$$

gänzlich unabhängig von den Eigenschaften des Instruments, und wir können sagen: die dynamische Deviation wird für alle Kompaßrosen und Horizontalnadeln der verschiedensten Konstruktion bei derselben Schiffsaufstellung gleich, wenn sie nur die gleiche Schwingungsdauer haben; sie wächst stark mit der Breite.

Für die numerische Berechnung von $I$ unterscheiden wir 3 Breitenzonen:

| Breite | Inklination | $I$ |
|---|---|---|
| niedrig | 30° | $0{,}35 \cdot 10^{-6}$ cm$^{-2}$ sec$^4$ |
| mittel | 60° | 3,1 „ |
| hoch | 75° | 14 „ |

Den Periodenfaktor bestimmen wir für die von uns viel benützte Horizontalnadel des Deviationsmagnetometers, für die Thomsonrose und für eine in der Kaiserlichen Marine gebräuchliche Azimutrose; für die beiden ersteren entnehmen wir das $p$ unsern eigenen Bestimmungen, für die letztere einem Beispiel aus dem „Handbuch der nautischen Instrumente", Berlin 1890, Seite 203. Auch hier unterscheiden wir wieder die 3 Breitengruppen; aus dem in mittlerer Breite bestimmten $p$ läßt sich das zugehörige $p$ einer anderen Breite unschwer berechnen.

$P_p$ für verschiedene Breiten und Instrumente:

| Breite | Horizontalintensität | Deviationsmagnetometer | | Azimutrose | | Thomsonrose | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p$ | $P_p$ | $p$ | $P_p$ | $p$ | $P_p$ |
| niedrig | 0.3 | 2,5 sec | $1{,}3 \cdot 10^{-2}$ | 13 sec | $1{,}1 \cdot 10^{-2}$ | 21 sec | $0{,}3 \cdot 10^{-2}$ |
| mittel | 0.2 | 3,6 „ | 1,5 „ | 16 „ | 0,6 „ | 26 „ | 0,2 „ |
| hoch | 0.1 | 5,1 „ | 1,8 „ | 23 „ | 0,2 „ | 37 „ | 0,1 „ |

So kommen wir für die oben definierten Schiffsverhältnisse an Bord des „Gauss" zu folgenden Werten:

Mittlere dynamische Deviation
von Kompaß und Horizontalnadel:

| Breite | Deviations-Magnetometer | Azimutrose | Thomsonrose |
|---|---|---|---|
| niedrig | 0.′5 längsschiffs | 0′.5 querschiffs | 0′.1 querschiffs |
| mittel | 4′ „ | 2′ „ | 0′.5 „ |
| hoch | 23′ „ | 3′ „ | 1′.5 „ |

Vergegenwärtigen wir uns, daß den Zahlwerten dieser Tabelle die Annahme der verhältnismäßig kleinen mittleren Schwankungsgeschwindigkeit des Beobachtungsplatzes von $^1/_3$ m in der sec zugrunde liegt, so können wir die Lehre dieser Tabelle in die Worte zusammenfassen: Die dynamische Deviation von Kompaß und Horizontalnadel ist zwar so klein, daß sie für die Praxis nur bei annähernder Gleichheit der Schwingungsperioden von Schiff und Rose in Betracht kommen wird; bei genauen Messungen darf sie indessen nicht außer acht gelassen werden.

## § 78. Fehler des horizontalen Ablenkungswinkels D. M. infolge der dynamischen Deviation.

Wir berechnen noch den Fehler des Ablenkungswinkels der nach LAMONTscher Methode abgelenkten Horizontalnadel von D. M., da diese Messungen von unserer Expedition regelmäßig auf See ausgeführt worden sind. Bei der Bestimmung des Ablenkungswinkels kommen zwei verschiedene Stellungen der Nadel zum Schiff in Betracht; wir greifen daher auf die vollständige Formel 78 zurück, welche den Winkel $\varepsilon = R - \zeta$ enthält. $R$ bedeutet offenbar nichts anderes als den Ablenkungswinkel $\alpha$. Wenn wir die Nadel nach beiden Seiten ablenken und die quadratischen Glieder der Deviation mit $F$ zusammenfassen, so ist der Fehler der Stellung bei der

$$\begin{array}{lll} \text{Ablenkung nach der positiven Seite} & = & -F \sin 2\,(\alpha - \zeta) \\ \quad\text{„}\quad\text{„}\quad\text{„}\quad\text{negativen}\quad\text{„} & = & +F \sin 2\,(\alpha + \zeta) \\ \hline \text{demnach Fehler des Ablenkungswinkels } \varDelta\alpha & = & -F \cos 2\zeta \sin 2\alpha, \end{array}$$

d. h. der Ablenkungswinkel erleidet den größten Fehler auf den Hauptkursen (im Unterschied vom Kompaß), und zwar wird der Winkel zu klein bei nordsüdlichem, zu groß bei ostwestlichem Kurs.

Der Schiffsfaktor bleibt bei denselben Bordverhältnissen unverändert, nämlich $4\pi^4 S_r = 2{,}68 \cdot 10^4$. Dagegen ändern sich die beiden andern Faktoren: im Instrumentenfaktor ist statt $D = MH$ $D_a = MH \cos\alpha$ einzusetzen, demnach wird der neue Faktor $I_a = I \sec^2\alpha$; ebenso ändert sich $p$, da die Nadel nicht mehr im Feld $H$, sondern im Feld $H \cos\alpha$ schwingt, in $p = p\sqrt{\sec\alpha}$. Wenn wir hiernach die numerische Ausrechnung für $\alpha = 30°$ und $45°$ ausführen, so ergibt sich folgendes Resultat:

Maximaler Fehler des Ablenkungswinkels D. M. und Unsicherheit von $H$ infolge der dynamischen Deviation:

| Breite | $H$ cm-g-sec | $i$ | $\Delta\alpha$ bei $\alpha = 30°$ | $\Delta\alpha$ bei $\alpha = 45°$ | $\frac{\Delta H}{H}$ in Promille | $\Delta H$ in $\gamma$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| niedrig | 0,3 | 30° | ½′ | 1′ | 0,3 | 10 |
| mittel | 0,2 | 60° | 5′ | 9′ | 2,5 | 50 |
| hoch | 0,1 | 75° | 30′ | 59′ | 15 | 150 |

Diese Tabelle zeigt, daß die dynamische Deviation die $H$-Bestimmung von D. M. unter ungünstigen Verhältnissen, z. B. in der Westwindregion der Südhalbkugel, erheblich beeinträchtigen kann.

## § 79. Die dynamische Deviation des Lloyd-Creak-Apparats.

Der Lloyd-Creak-Apparat spielt seit seiner Entstehung ums Jahr 1900 eine große Rolle bei der erdmagnetischen Erforschung des Weltmeers; er ist auf der deutschen und englischen Südpolar-Expedition verwandt worden, und ist gegenwärtig bei dem großartigen Unternehmen der Carnegie Institution (L. A. Bauer) in ausgiebigem Gebrauch. Es ist daher wichtig, sich ein Urteil über die dynamische Deviation des Apparats zu bilden, zumal bei einer der beiden Intensitätsnadeln der Schwerpunkt absichtlich außerhalb des Drehpunkts verlegt ist, um an der Wirkung der konstanten Schwerkraft die veränderliche erdmagnetische Kraft messen zu können. Im Unterschied vom Kompaß wird er außer vom Rollen wesentlich von den Vertikalschwankungen des Schiffs beeinflußt.

Zuerst behandeln wir den für beide Fälle gemeinsamen Instrumentenfaktor. Die unbelastete vollkommene Inklinationsnadel würde sich in die Richtung der erdmagnetischen Kraftlinien einstellen. Belasten wir nun (normalerweise) das obere Ende, so wird es um den Winkel $K$ aus der Richtung der Kraftlinien herausgezogen und nähert sich der abwärts gerichteten Vertikalen bis auf den Winkel $V$. Für diese Gleichgewichtslage gilt offenbar die Beziehung:

$$MT \sin K = mlg \sin V. \tag{80}$$

Die in der Richtung dieser Gleichgewichtslage wirkende Direktionskraft $D$ hat die Form:

$$D = MT \cos K + mlg \cos V. \tag{81}$$

In Gleichung 81 können wir den Faktor $MT$ vermöge der Beziehung 80 durch $ml$ ersetzen, das dadurch ein gemeinsamer Faktor von $D$ wird und bei der Bildung von $I$ herausfällt.

So wird

$$I = \left(\frac{ml}{D}\right)^2 = \frac{1}{g^2}\left(\frac{\sin K}{\sin (K+V)}\right)^2.$$

Für die folgenden numerischen Berechnungen entnehmen wir unsern Beobachtungen auf den verschiedenen Hauptstationen unsrer Reise folgende Daten:

(82)

| Strecke | Hauptstation | Belastet | $T$ cm-g-sec | $K$ | $V$ | $I$ $cm^{-2}\,sec^4$ | $p^2$ sec2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Potsdam | S-Ende | 0,470 | 105° | 51° | $4{,}9 \cdot 10^{-6}$ | 30 |
| | Azoren | „ | 0,475 | 98 | 54 | | |
| 2. | St. Helena vor Umsetzen des Gewichts | „ | | 40 | 17 | 1,0 „ | 14 |
| | St. Helena nach Umsetzen des Gewichts | N-Ende | 0,282 | 96 | 27 | | |
| 3. | Kapstadt | „ | 0,358 | 116 | 33 | 2,1 „ | 20 |
| 4. | Kerguelen | „ | 0,484 | 108 | 52 | 4,7 „ | 30 |
| 5. | Antarktis | „ | 0,608 | 77 | 90 | 11,5 „ | 48 |

Durch die obigen Hauptstationen wird unser Reiseweg auf dem Weltmeer in 5 magnetisch verschiedene Strecken eingeteilt. Für jede Strecke bilden wir aus den einschließenden Hauptstationen die mittleren Werte von $K$ und $V$ und damit den Instrumentenfaktor jeder Strecke; die Werte derselben sind der Liste 82 angefügt.

### I. Rollen des Schiffs.

Nunmehr betrachten wir das Verhalten der belasteten Nadel beim Rollen des Schiffs, indem wir denselben Bewegungszustand des Schiffs wie im letzten Paragraphen annehmen. Der Schiffsfaktor $4\pi^4 S_r = 2{,}68 \cdot 10^4$ ist daher unverändert beizubehalten.

Im Periodenfaktor bleibt $P = 9$ sec unverändert. Dagegen müssen wir $p$, für welches keine direkten Beobachtungen vorliegen, berechnen. Nun ist

$$p^2 = 4\pi^2 \frac{k}{D} = 4\pi^2 \frac{k}{mlg} \frac{\sin K}{\sin (K+V)},$$

wenn wir die Gleichungen 80 und 81 in Betracht ziehen. Da die Nadel nahezu ein Parallelepiped mit den Seiten 10,5 und 0,65 cm darstellt und 7,1 $g$ wiegt, so ist das Trägheitsmoment $k = 66{,}4$ $cm^2$ g. Die vorher genau ausbalancierte Nadel ist durch ein Gewichtchen von 0,04 $g$ im Abstand von 4,65 cm vom Drehpunkt einseitig belastet, daraus folgt $mlg = 185$ g $cm^2\,sec^{-2}$. Nehmen wir dazu aus der Tabelle 82 für jede Strecke ein mittleres $K$ und $V$, so erhalten wir die in der letzten Spalte von 82 mitgeteilten Werte von $p^2$.

Der Lagenfaktor, welcher nach Gleichung 78 mit unsern Bezeichnungen $\sin^2\zeta \sin 2V$ ist, sagt aus, daß die Deviation bei nordsüdlichem Kurs verschwindet, bei ostwestlichem ihr Maximum erreicht. Den mit dem Ort veränderlichen Wert von $\sin 2V$ ermitteln wir aus der Tabelle 82.

Die dynamische Deviation, deren einzelne Faktoren durch die obigen Daten nun vollständig bestimmt sind, vergrößert nach den Ausführungen von § 76 den Winkel $K$ um das-

selbe Stück $\Delta$, um welches $V$ verkleinert wird; sie verursucht dadurch eine Unsicherheit von $T$, welche nach Gleichung 80 durch folgende Formel sich ausdrückt:

$$\frac{\Delta T}{T} = \operatorname{ctg} V \, \Delta V - \operatorname{ctg} K \, \Delta K = (\operatorname{ctg} V + \operatorname{ctg} K) \, \Delta.$$

Die numerischen Resultate sind folgende:

Dynamische Deviation von L. C. und daraus folgende Unsicherheit von $T$ beim Rollen des „Gauss" auf ostwestlichem Kurs.

| Strecke | Dynam. Ablenkung | | $\frac{\Delta T}{T}$ | $\Delta T$ |
|---|---|---|---|---|
| 1. Deutschland—Azoren | 9′ | nach der Senkrechten | 1.5 Promille | 70 γ |
| 2. Azoren—St. Helena | 1½′ | | 0.7 | 30 |
| 3. St. Helena—Kap | 3′ | | 1.1 | 30 |
| 4. Kap—Kerguelen | 9′ | | 1.7 | 70 |
| 5. Kerguelen—Antarktis | 21′ | | 1.9 | 100 |

## II. Vertikalschwankungen.

Instrumentenfaktor und Nadelperiode bleiben gleich wie beim Rollen und sind der Tabelle 82 zu entnehmen; auch der Lagenfaktor $\sin 2V$ bleibt derselbe.

Für den Schiffsfaktor legen wir die Verhältnisse eines mäßigen Seegangs zugrunde: alle 8 sec werde der Beobachtungsplatz an Bord um 150 cm über sein mittleres Niveau gehoben und dazwischen um ebensoviel darunter gesenkt. Bei seiner Kleinheit schwamm der „Gauss" jedenfalls bei so langen Wellen, wie es die mit 8 sec Schwingungsdauer sind, „obenauf wie eine Ente". Unter den unendlich vielen möglichen Vertikalschwankungen, die unser Beobachtungsplatz infolge des Stampfens, infolge der irgendwie auf das Schiff zulaufenden See oder Dünung ausführen kann, greifen wir einen mittleren Fall heraus, wie er namentlich für diejenigen Teile des Ozeans zutrifft, für welche im nächsten Paragraphen Beobachtungsmaterial mitgeteilt ist. Mit den obigen Daten ergibt sich der Schiffsfaktor $S_z$ der Vertikalschwankungen zu:

$$4 \, n^4 \, S_z = 13{,}5 \, . \, 10^4 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-2} .$$

Der Periodenfaktor folgt aus $P^2 = 64$ sec² und den $p^2$ von Tabelle 82 ohne weiteres. So erhalten wir das Resultat:

Dynamische Deviation von L. C. und daraus folgende Unsicherheit von $T$ bei mäßigen Vertikalschwankungen ($P = 8$ sec, $A = 150$ cm).

| Strecke | Dynam. Ablenkung | | $\frac{\Delta T}{T}$ | $\Delta T$ |
|---|---|---|---|---|
| 1. Deutschland—Azoren | 1,1° | nach der Horizontalen | 11 Promille | 500 γ |
| 2. Azoren—St. Helena | 0,2° | | 4 „ | 150 „ |
| 3. St. Helena—Kap | 0,3° | | 8 „ | 250 „ |
| 4. Kap—Kerguelen | 1,0° | | 13 „ | 500 „ |
| 5. Kerguelen—Antarktis | 3,9° | | 21 „ | 1200 „ |

Nach den Ergebnissen von § 76 wird bei diesen Vertikalschwankungen die Nadel nach der Horizontalen abgelenkt, d. h. der Winkel $K$ wird zu klein, $V$ zu groß und demnach $T$ selber zu groß (Gl. 80).

Wir können das Ergebnis dieses Paragraphen dahin zusammenfassen: Während die Rollbewegung die Einstellungen der belasteten Inklinationsnadel L. C. nur in geringerem Maße beeinträchtigt, werden die Vertikalschwankungen des Beobachtungsplatzes an Bord jenen Messungen sehr gefährlich und können sie sogar ganz illusorisch machen. $T$ fällt im allgemeinen infolge der Vertikalschwankungen zu groß aus.

## § 80. Bestätigung der dynamischen Deviation des Lloyd-Creak-Apparats durch die Erfahrung.

Wer auf hoher See mit der belasteten Nadel von L. C. arbeitet, hat vielfach seine liebe Not mit der Beobachtung der stark schwankenden Nadel. Aber auch abgesehen von solchen praktischen Schwierigkeiten kann man sich der prinzipiellen Bedenken gegen eine Methode nicht erwehren, deren Formeln sich auf die Statik der Nadel gründen, deren Beobachtungsdaten jedoch von einer komplizierten Dynamik derselben herrühren. Ich habe diesen Bedenken bereits in einem der Reiseberichte Ausdruck gegeben, der auf See geschrieben und im 5. Heft der „Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde", Berlin 1903, veröffentlicht worden ist. Auf Grund der HARTMANNschen Lösung der Differentialgleichung haben wir diese Bedenken theoretisch begründet; wir wollen sie nunmehr auch durch die Erfahrung bestätigen.

Die Schwierigkeit, ohne Kenntnis des wahren $T$ einen methodischen Fehler $\Delta T$ des Belastungsversuchs von L. C. nachzuweisen, können wir dadurch überwinden, daß an jeder Station an Land wie auf See unter genau gleichen Umständen außer dem Belastungsversuch stets auch ein Ablenkungsversuch angestellt worden ist, indem mit der belasteten Nadel als ablenkendem Magneten eine Hilfsnadel in später zu erörternder Weise abgelenkt wurde. So haben wir für dasselbe $T$ zwei Bestimmungen:

$$\text{Belastungsversuch: } T = \frac{lmg}{M} \frac{\sin V}{\sin K}$$

$$\text{Ablenkungsversuch: } T = \frac{M}{f \cdot e^3} \frac{1}{\sin \varphi}$$

Hier bedeutet $f$ eine gewisse konstante Ablenkungsfunktion, $e$ eine konstante Entfernung. Wir bilden nun eine Funktion $F$, in welcher das unbekannte und variable $T$ herausfällt:

$$F = \frac{\sin \varphi \sin V}{\sin K} = \frac{M^2}{lmg\, fe^3}. \tag{83}$$

Aus den Beobachtungsstücken jeder Station $\varphi$, $V$ und $K$ können wir den Wert derselben ableiten; sie ist konstant und überall gleich, solange $M$ sich nicht ändert. Aber auch dieses unsichere Element fällt heraus, wenn wir das Verhältnis solcher Werte von $F$ bilden, welche auf

demselben mittleren $M$ beruhen. Dies ist der Fall, wenn wir für irgendeine Reisestrecke den Wert $F$ einmal aus den Beobachtungen der beiden einschließenden Landstationen bilden und den Mittelwert der auf diesen beiden Landstationen ermittelten $F$ als den „Landwert" $F_{Land}$ unserer Strecke annehmen, und wenn wir andererseits aus den Beobachtungen der dazwischen liegenden Seestationen in analoger Weise den mittleren „Seewert" $F_{See}$ bilden. Nach Formel 83 muß das Verhältnis dieser beiden Mittelwerte streng $= 1$ sein, solange eine gewaltsame Beschädigung des Apparats ausgeschlossen ist, und sofern die Beobachtungsgrößen auf See und an Land keinen prinzipiellen Unterschied aufweisen. Da jenes Verhältnis nach unsern Beobachtungen von 1 abweicht, schließen wir daraus auf einen prinzipiellen Fehler des Belastungsversuchs, da keine Veranlassung vorliegt, bezüglich des Ablenkungswinkels $\varphi$ irgendeine Abweichung zwischen Land- und Seebeobachtungen anzunehmen.

Wir greifen aus unserem Beobachtungsmaterial dasjenige vom Indischen Ozean heraus, dessen drei Strecken durch vier Hauptstationen an Land eingeschlossen sind. Wir teilen für jede Strecke den mittleren Landwert und Seewert von $\log F$ mit und bemerken ausdrücklich, daß alle Reduktionen wegen Temperatur- und Schwereänderung angebracht sind.

Mittelwert von $\log F$ (Gleichung 83).

| Strecke | Landwert $\log F$ | Seewert $\log F$ | Anzahl der Seestationen | Mittleres $V$ | $\frac{F_{See}}{F_{Land}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Kap—Kerguelen | 0.7727 | 0.7758 | 3 | 41° | 1.007 |
| Kerguelen—Antarctis | .7690 | .7702 | 2 | 84° | 1.003 |
| Antarktis—Kap | .7671 | .7716 | 20 | 44° | 1.010 |

Die Tabelle zeigt eine prinzipielle Abweichung des Seewerts vom Landwert; auf See fällt die Funktion

$$\frac{\sin V}{\sin K}$$

und damit das daraus abgeleitete $T$ prinzipiell zu groß aus. Der Sinn und die Größenordnung dieser Abweichung stimmt ausgezeichnet mit den theoretischen Ergebnissen des letzten Paragraphen. Auch der Gang der Abweichungen, die nach der Theorie proportional $\sin 2V$ sind, mit den beobachteten $V$ tritt in der obigen Tabelle zutage.

Nach den Ergebnissen dieses Abschnitts scheint mir festzustehen, daß die Methode der belasteten Inklinationsnadel auf See zu verwerfen ist, und daß alle vom Lloyd-Creak-Apparat herrührenden $T$-Werte von hoher See mit Vorsicht aufzunehmen sind, soweit sie auf Messungen mit der belasteten Inklinationsnadel beruhen.

## IV. Abschnitt. Überblick über die charakteristischen Schwierigkeiten der Bordbeobachtungen und die Methoden zu ihrer Überwindung.

### § 81. Überblick über die charakteristischen Schwierigkeiten der Bordbeobachtungen.

Ein Hauptzweck dieser „Grundlagen" unsrer erdmagnetischen Seebeobachtungen ist es, einen möglichst vollkommenen Einblick in die eigenartigen Verhältnisse zu bekommen, unter

welchen die an Land so einfachen Beobachtungen auf hoher See auszuführen sind, und zu untersuchen, durch welche Umstände und bis zu welchem Grade die Sicherheit der Beobachtungsresultate durch jene Verhältnisse beeinträchtigt wird. Überblicken wir kurz die besonderen Schwierigkeiten magnetischer Bordbeobachtungen, so können wir als die drei Hauptfeinde derselben bezeichnen:

1. das Schiffseisen,
2. die Schiffsdrehungen,
3. die Schiffsschwankungen.

Dem Schiffseisen hat man von jeher besondere Beachtung geschenkt, und hat seinen Einfluß durch Korrektionen so weit als möglich eliminiert. Ihm ist das ganze III. Kapitel unserer „Grundlagen" gewidmet. In demselben sind die bisherigen Ansätze der Deviationslehre zu einem einheitlichen System, welches alle magnetischen Elemente umfaßt, ausgebaut; darnach ist unser Beobachtungsmaterial über das Schiffseisen des „Gauss" mitgeteilt, verarbeitet und in Deviationstabellen niedergelegt, welche für jede Beobachtung auf hoher See in einfacher Weise die Korrektion liefern. Unser Hauptaugenmerk haben wir dann der bisher noch unbeachteten Frage zugewandt, bis zu welchem Grade der Genauigkeit es diesen und früheren Untersuchungen gelungen ist, die Schwierigkeiten des Schiffseisens zu überwinden.

Die Schiffsdrehungen, die fortwährenden kleinen Kursschwankungen, hat man bisher kaum berücksichtigt. Es war auch nicht so nötig, weil es bis zum Jahre 1900 die gegen jene Schwankungen ziemlich unempfindliche Inklinationsnadel gewesen ist, welche das Beobachtungsmaterial vom Weltmeer, abgesehen von der Deklination, geliefert hat. Wir haben die Kursschwankungen während jeder einzelnen Messung durch gleichzeitige Kompaßablesungen verfolgt und werden im nächsten Paragraphen zeigen, wie man auf diese Weise den Einfluß der Schiffsdrehungen unschädlich machen kann.

Die Schiffsschwankungen hat man bisher zwar praktisch, so gut es ging, überwunden, aber ihren Einfluß auf die Bedeutung und Sicherheit der Beobachtungen nicht genügend beachtet; besondere Methoden, sie zu überwinden, gab es nicht. Diese Lücke versuchten wir im letzten Abschnitt auszufüllen. Insbesondere haben wir erkannt, daß außer zufälligen Störungen auch konstante Störungen, für welche wir den Begriff der „dynamischen Deviation" prägten, durch die Schiffsschwankungen veranlaßt werden. Wir werden sehen, wie man die zufälligen Störungen durch zweckmäßige Beobachtungsmethoden, die konstanten Störungen durch zweckmäßige instrumentelle Anordnungen überwinden kann.

## § 82. Überwindung der Schiffsdrehungen.

Bei Kompaßpeilungen irgendeines fernen Objekts macht sich der Beobachter durch seine eigene Geschicklichkeit von den Schiffsdrehungen frei, indem er mit der Hand den Diopter den Drehungen des Schiffes entgegendreht und in einem ruhigen Augenblick die Beobachtung nimmt. Mein gegenwärtig im Bau begriffener „Sonnenpeiler" soll den Beobachter der Sonne dieser Notwendigkeit entheben, indem er einen von den Schiffsdrehungen unabhängigen Lichtstrahl im Azimut der Sonne auf die beiden einander gegenüberliegenden Seiten der Kompaßrose wirft.

Bei allen übrigen Messungen führen gleichzeitige Kompaßablesungen zum Ziel, indem jedesmal in dem Augenblick, wo eine Einstellung beobachtet wird, auf ein Signal ein zweiter Beobachter den Stand des Kompasses notiert. Bei den Beobachtungen mit der Horizontalnadel können dann die Schiffsdrehungen direkt eliminiert werden: gehört zu irgendeiner Beobachtung $b_i$ der Kurs $\zeta_i$, so wird sie auf den aus allen einzelnen $\zeta_i$ gebildeten mittleren Kurs $\zeta_m$ dadurch reduziert, daß man den Winkel $\zeta_m - \zeta_i$ im richtigen Sinn zu $b_i$ hinzufügt. Auf diese Weise wird das Schiff gleichsam gezwungen, einen konstanten mittleren Kurs $\zeta_m$ zu fahren.

Bei der Inklinationsnadel tritt an Stelle dieser direkten eine indirekte Elimination der Drehungen vermittelst Korrektionsformeln. Zu einem bestimmten Kurs $\zeta_a$, den das Schiff fahren soll, gehört eine bestimmte Einstellung $a$ am Horizontalkreis des Inklinatoriums, welche die Schwingungsebene der Inklinationsnadel beim Kurs $\zeta_a$ in den magnetischen Meridian bringt. Während der ganzen Messung wird diese feste Einstellung $a$ am Instrument beibehalten, ob das Schiff sich dreht oder nicht; im allgemeinen wird aber bei der $i$ten Einzelbeobachtung nicht der beabsichtigte Kurs $\zeta_a$, sondern ein benachbarter Kurs $\zeta_i$ anliegen. Infolge der Abweichung $\alpha = \zeta_a - \zeta_i$ wird die Inklination etwas zu groß, die Totalintensität etwas zu klein ausfallen. Vermöge des mittleren $\alpha$, das aus dem bestimmten $\zeta_a$ und allen $\zeta_i$ der Messung ermittelt wird, kann jedoch dieser Fehler durch folgende leicht abzuleitende Korrektionsgrößen verbessert werden:

$$\text{Korrektion der beobachteten Inklination } i\text{:} \quad \Delta i = -\frac{1}{4}\alpha^2 \sin 2i.$$

$$\text{Korrektionsfaktor der beobachteten Totalintensität } T\text{:} \quad 1 + \frac{1}{2}\alpha^2 \cos^2 i.$$

Wie man sieht, sind diese Korrektionen meist sehr klein, da sie proportional mit dem Quadrat des kleinen Winkels $\alpha$ sind.

## § 83. Überwindung der von den Schiffsschwankungen herrührenden zufälligen Störungen durch das Beobachtungsverfahren.

Unter den zufälligen Störungen der Magnetnadel infolge der Schiffsschwankungen verstehen wir die fortwährenden, mehr oder weniger regelmäßigen Schwankungen, welche die Magnetnadel auf hoher See um eine gewisse Mittellage ausführt, unter den konstanten Störungen die Abweichungen dieser Mittellage von der idealen Gleichgewichtslage, welche sich bei vollkommen ruhigem Schiff einstellen würde. Im letzten Abschnitt haben wir die theoretischen Grundlagen für beide Störungsarten gegeben.

Die zufälligen Störungen überwinden wir durch dasselbe Mittel, mit welchem wir den zufälligen Fehlern überhaupt zu Leibe gehen, durch die Menge der Beobachtungen. Je mehr Einzelbeobachtungen, die einen augenblicklichen Schwingungszustand wiedergeben, zur Verfügung stehen, um so mehr wird das Mittel derselben der gesuchten Mittellage nahekommen.

Das zweckmäßigste Beobachtungsverfahren richtet sich nach dem Schwingungscharakter der Nadel; wir unterscheiden zweierlei Beobachtungsmethoden:

1. die Schätzungsmethode, welche das bisher allein übliche Verfahren darstellt; es wird bei schnellen Schwingungen oder starker Dämpfung der Nadel, welche die Anwendung der zweiten Methode nicht erlauben, anzuwenden sein. Es besteht einfach darin, daß man durch fortwährendes Beobachten sich so in den augenblicklichen Schwingungszustand hineinlebt, daß man schätzungsweise eine Mittellage anzugeben vermag, um welche sich die raschen unregelmäßigen Bewegungen abspielen; durch oftmalige Wiederholung dieses Verfahrens kommt man dem Ziel beliebig nahe. Als Beispiel, was man auf diese Weise erreichen kann, führen wir unsere Erfahrungen mit der Horizontalnadel D. M. an: sie schwankte heftig und unregelmäßig je nach dem Zustand der See innerhalb 20, 50 ja 100 Graden hin und her, und doch ist es mittels der Schätzungsmethode gelungen, aus 10 Einzelbestimmungen einen Mittelwert zu erhalten, dessen mittlerer Fehler nur einige Zehntel Grad beträgt. Das Nähere siehe bei „Deklination“ und „Intensität“.

2. Die Methode der Umkehrpunkte ist von mir ausgebildet und besonders bei der Inklinationsnadel D. M. gepflegt worden. Sie besteht darin, daß man die schwachen, unregelmäßigen Schwankungen absichtlich vergrößert, indem man die Nadel zu Beginn der Beobachtung um ein gutes Stück aus der Gleichgewichtslage entfernt, und darauf den ganzen Schwingungsablauf durch eine längere, zusammenhängende Beobachtungsreihe der Umkehrpunkte festlegt; die Beobachtungsreihe soll sich womöglich über mehrere, volle Schiffsschwankungen erstrecken. Dieses Verfahren ist jederzeit anwendbar, wenn nur die Nadel genügend langsam und ungedämpft schwingt. Es hat den Vorzug, daß es die Beobachtungen sehr erleichtert, von der Willkür des Schätzens ganz befreit und systematisch auf alle möglichen Phasen der Schiffsbewegung verteilt; es hat den Nachteil, daß sich das zu verarbeitende Zahlenmaterial stark anhäuft. Als Beispiel für die Leistungsfähigkeit dieser Methode teilen wir mit, daß die Inklinationswerte, welche auf der Beobachtung von 8 Nadellagen zu je 20 Paaren von Umkehrpunkten (obere und untere Spitze je 10 Paare) beruhen, im allgemeinen auf $\pm 0{,}05^0$ genau bestimmt werden konnten. Das Nähere siehe bei „Inklination“.

## § 84. Überwindung der von den Schiffsschwankungen herrührenden konstanten Störungen, der dynamischen Deviation, durch instrumentelle Anordnungen.

Wir haben in § 76 ff. die allgemeinen Ursachen der dynamischen Deviation und ihre Wirksamkeit bei den einzelnen magnetischen Schiffsinstrumenten studiert. Wir legen uns zum Schluß die Frage vor, ob und wie es möglich ist, die dynamische Deviation ganz aufzuheben oder möglichst unschädlich zu machen. Wir wollen uns daher ihre Hauptfaktoren daraufhin ansehen, ob und wie sie zum Verschwinden gebracht werden können (vgl. § 76).

Der Schiffsfaktor stellt eine vis major dar; hat man die Möglichkeit, wird man natürlich ein möglichst großes und ruhiges Schiff wählen, das eine sehr langsame Schwingungsdauer hat und die Vertikalschwankungen der Meeresoberfläche nur in geringem Maße mitmacht.

Der Lagenfaktor bietet bei den Rollbewegungen durch die Wahl eines nordsüdlichen Kurses die Möglichkeit, die unabgelenkte Horizontalnadel oder die belastete Inklinationsnadel

vor einer konstanten Störung zu schützen; im übrigen, insbesondere gegen Vertikalschwankungen, gibt er uns nur ein schwer allgemein zu verwirklichendes Hilfsmittel an die Hand, nämlich die Methode, immer nur die horizontale oder die vertikale Lage der belasteten Inklinationsnadel als Gleichgewichtsstellung zu benutzen. Man könnte daran denken, dies durch ein Laufgewicht zu erreichen und nicht die Totalintensität, sondern die Vertikalintensität zu bestimmen, indem man in niedrigen Breiten die vertikale, in hohen die horizontale Einstellung der Nadel durch eine zu messende Verschiebung des Laufgewichts herbeiführt.

Der Instrumentenfaktor steht und fällt mit der Exzentrizität des Nadelschwerpunkts. Dieselbe tritt im Zähler auf; da sie jedoch durch Vermittlung des magnetischen Moments bei der Horizontal- und Inklinationsnadel in engster Beziehung zu der im Nenner stehenden Direktionskraft steht, hebt sie sich entweder ganz heraus, wie beim Kompaß, oder steckt nur noch in dem Ablenkungswinkel, der das unentbehrliche Messungselement darstellt. Also haben wir vom Instrumentenfaktor keine wesentliche Hilfe zu erwarten, solange wir nicht mit der Exzentrizität des Schwerpunkts ihn und damit die dynamische Deviation überhaupt ganz zum Verschwinden bringen können.

Ein letztes Mittel bietet uns der Periodenfaktor, und in der Tat können wir durch geeignete Wahl des Trägheitsmoments und der Direktionskraft es erreichen, daß $P^2 - p^2$ möglichst groß, der konstante Fehler möglichst klein wird; man muß also bestrebt sein, die Schwingungsdauer der Nadel möglichst verschieden von der des Schiffes zu wählen. So haben wir z. B. in § 77 gesehen, daß die Thomsonrose deshalb am fehlerfreiesten funktioniert, weil $p$ sehr viel größer als $P$ ist, und die Summe $p + P$ zugleich eine erhebliche Größe darstellt.

Wir können demnach unser Urteil dahin zusammenfassen, daß man die dynamische Deviation am besten ganz vermeidet, indem man, wenn nur irgend möglich, den Schwerpunkt in den Drehpunkt des beweglichen Instrumententeils verlegt; zu verwerfen sind im allgemeinen Methoden, welche die Exzentrizität des Schwerpunkts einführen, um sie als Messungselement zu benutzen. Wo sich diese Exzentrizität jedoch nicht vermeiden läßt, wie beim Kompaß, kann man durch geeignete Wahl der Schwingungsdauer von Schiff und Nadel den Fehler der dynamischen Deviation möglichst klein machen.

---

## Verbesserungen und Bemerkungen.

Seite 139 mitte: In den Formeln ist versehentlich und ohne besondere Absicht bald das Zeichen „log“, bald „lg“ gebraucht.

Seite 165 unten: fehlt Abbildung 7.

Seite 172 unten: Zu den Reduktionsformeln von § 22 ist zu bemerken, daß die Temperaturkoeffizienten in Einheiten der 5. Dezimale, die Induktionskoeffizienten dagegen in normalen Einheiten des Logarithmus angegeben sind.

Seite 175 oben: In den Reduktionsformeln für die magnetischen Momente ist „log $M_0$“ statt $M_0$ zu setzen. Temperatur- und Induktionskoeffizienten sind in Einheiten der 5. Dezimale des Logarithmus angegeben.

Seite 226ff: Die Deviationskoeffizienten, abgesehen von $\lambda$ und $\mu$, sowie die mittleren Fehler aller Koeffizienten sind im ganzen Abschnitt in Einheiten der 3. Dezimale angegeben.

Fig. 1.

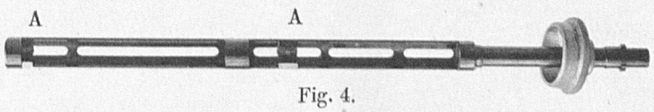



Fig. 4.

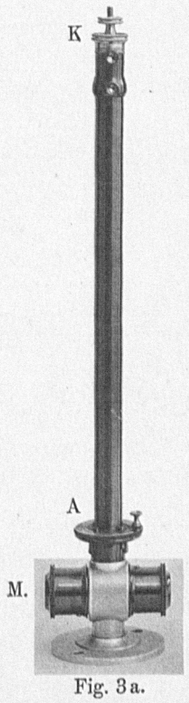



Fig. 3a.

Fig. 3c.

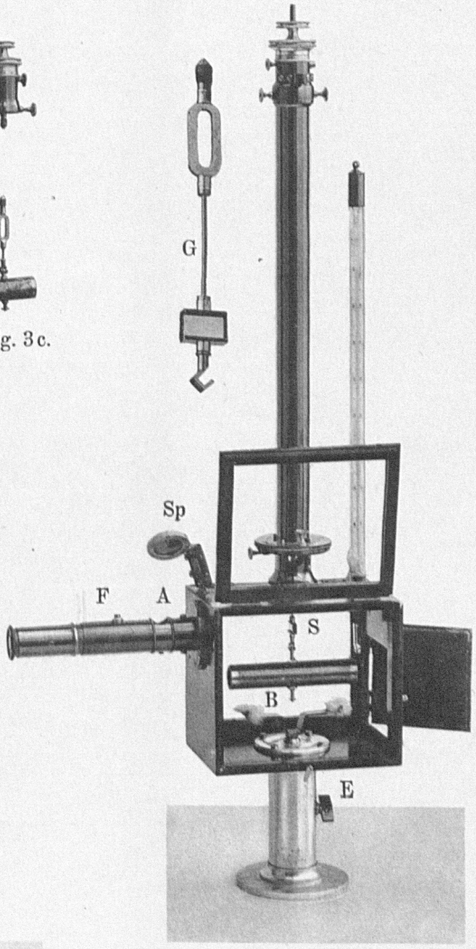



Fig. 5.

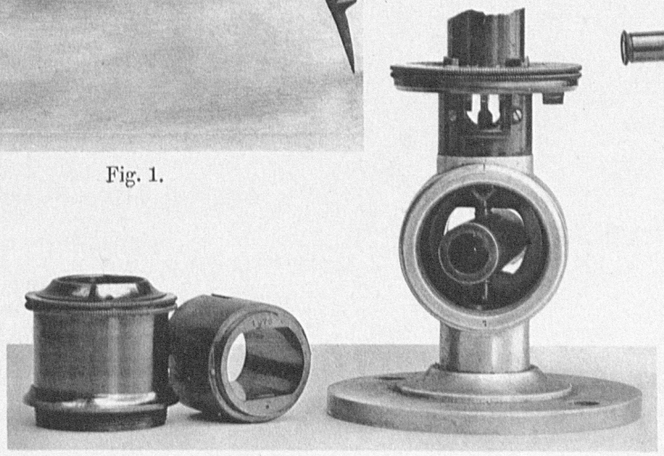


Fig. 3b.

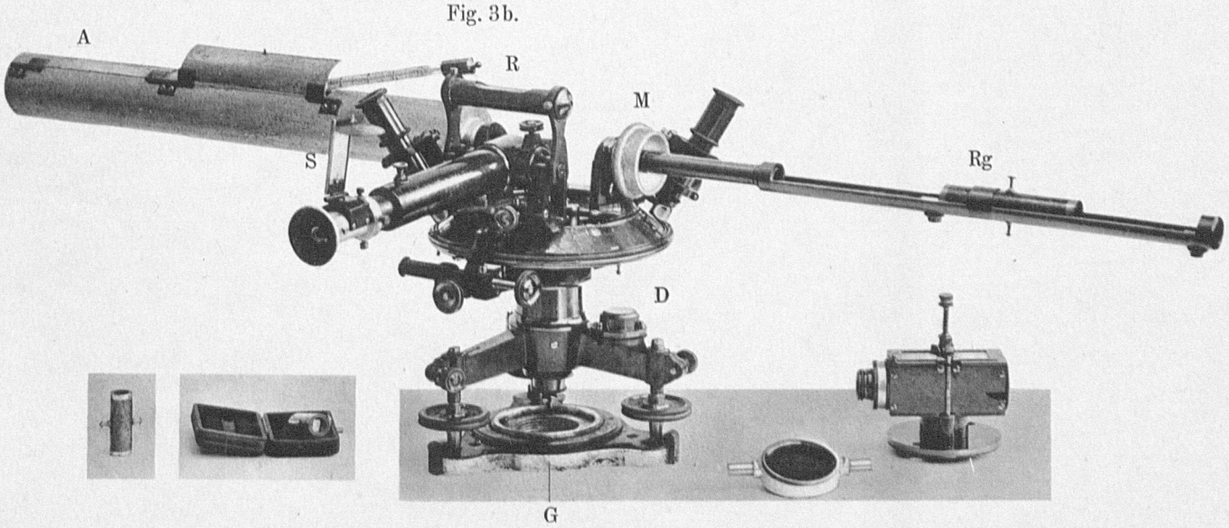



Fig. 2.

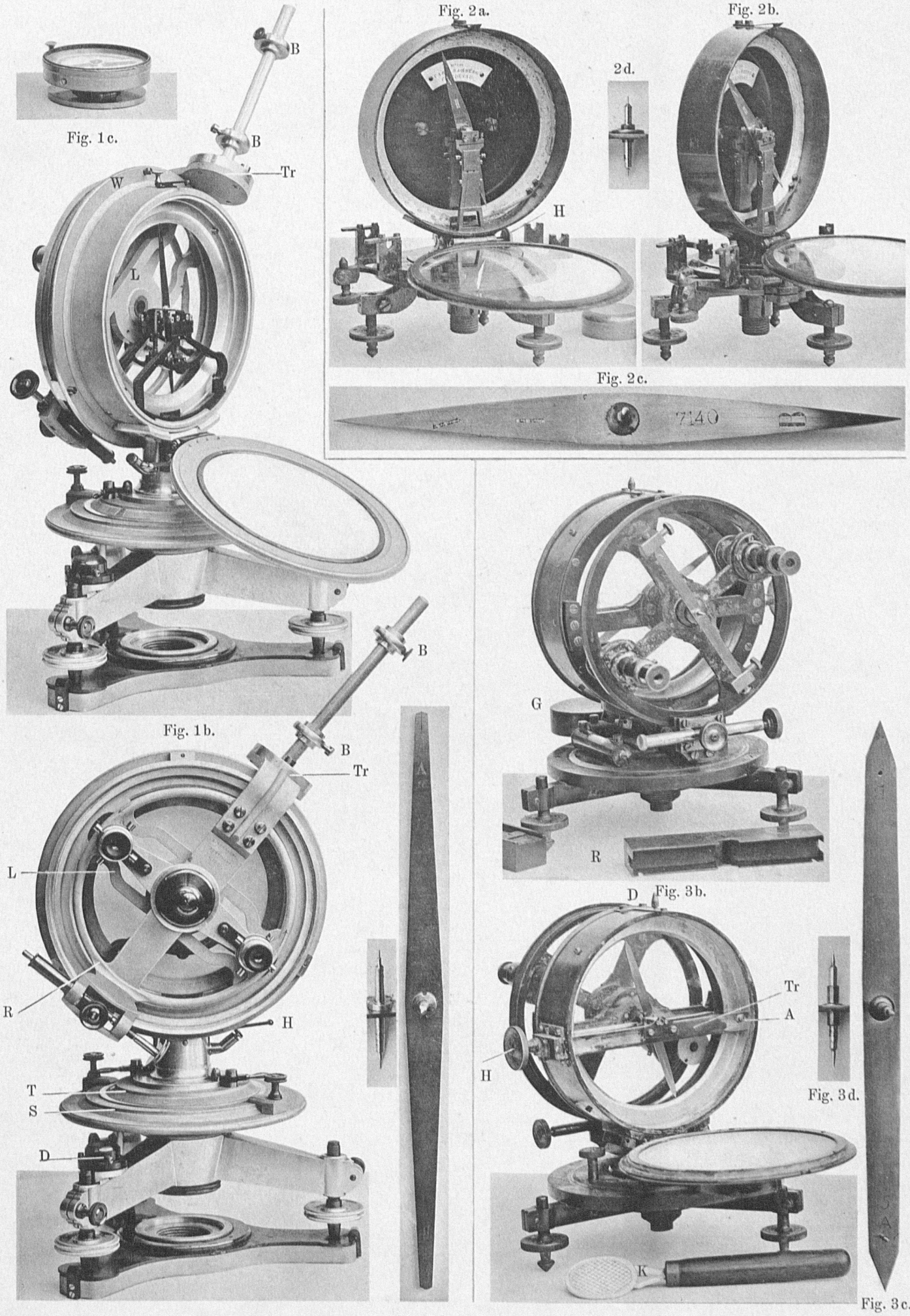


Fig. 1c.
B
B
Tr
W
L
Fig. 1b.
B
B
Tr
L
R
H
T
S
D
Fig. 1a.
Fig. 1d.
Fig. 2a.
Fig. 2b.
2d.
H
Fig. 2c.
7140
G
R
Fig. 3b.
D
Tr
A
H
Fig. 3d.
K
Fig. 3c.
Fig. 3a.

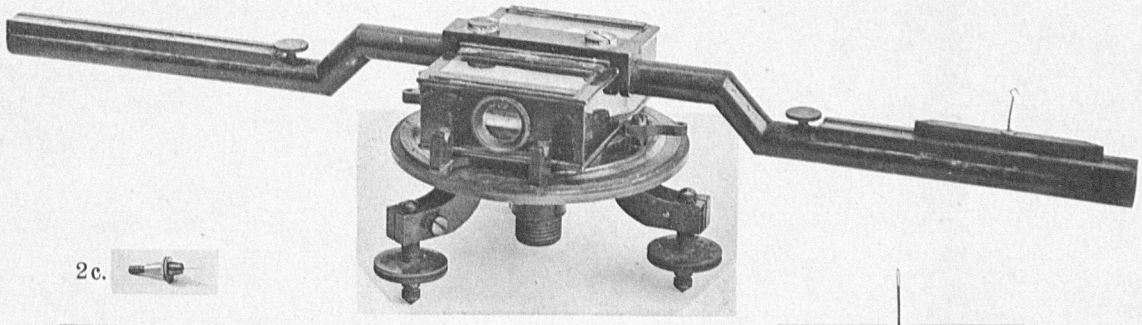


Fig. 1.

2c.



2b.

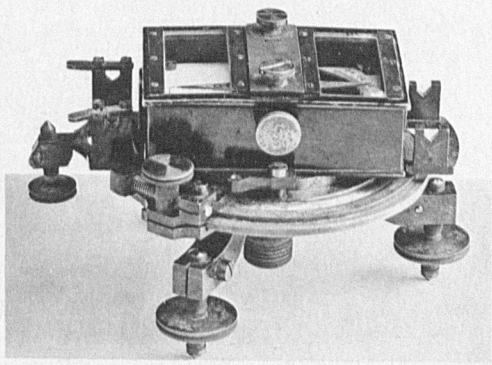


Fig. 2a.

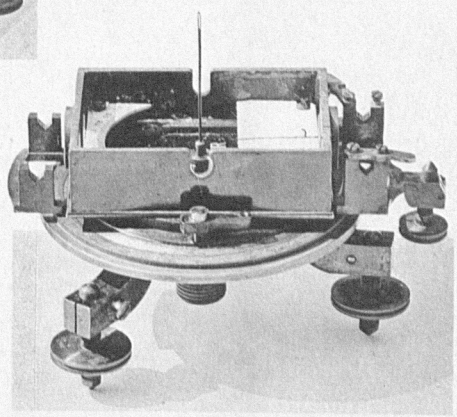


Fig. 3.

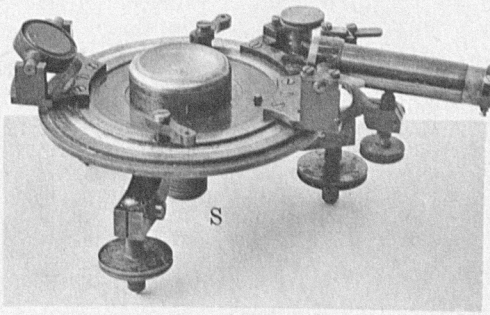



Fig. 4.

Fig. 5.

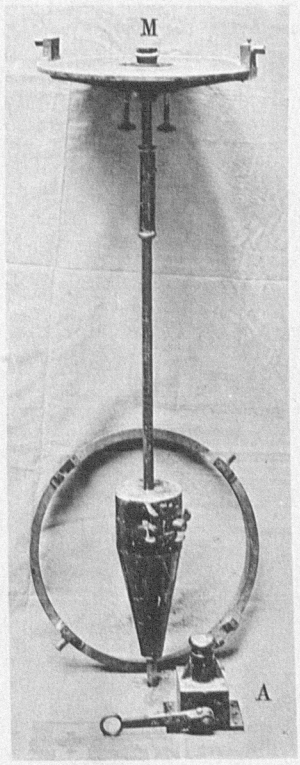
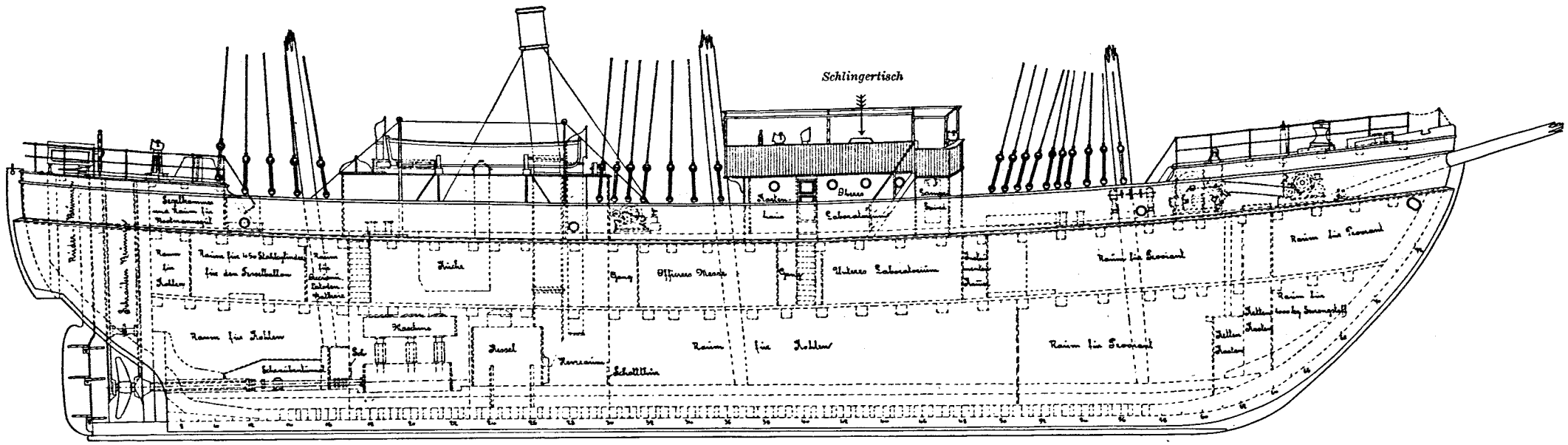
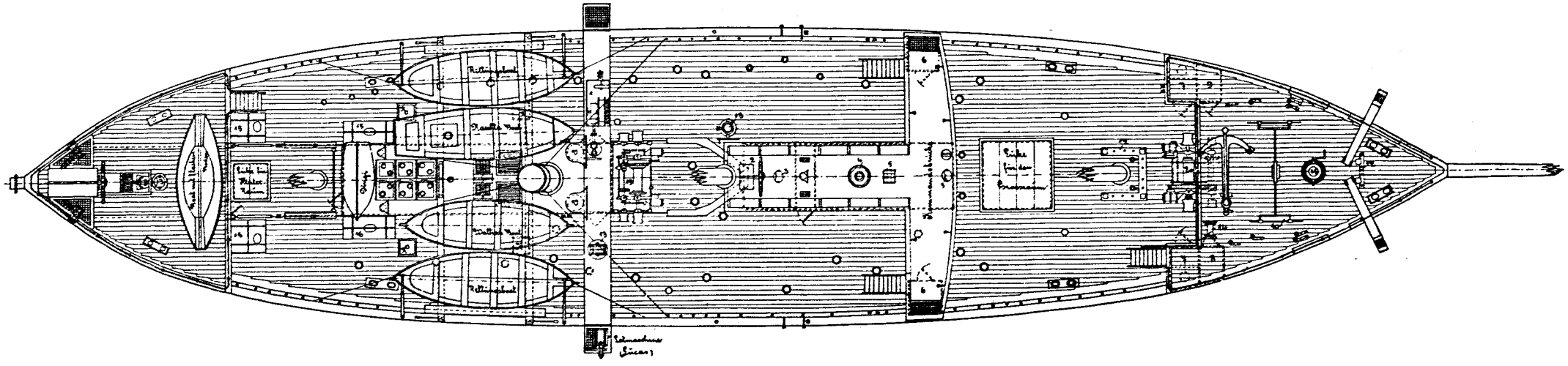



Fig. 6.

Längsschnitt. 1 : 200.



Oberdeck.

1 Lotmaschine (Sigsbee).
2 Steuerapparat.
3 Kompaß.
4 **Schlingertisch.**
5 Oberlicht für Laboratorium.
6 Lampenspind.
7 Klosett.
8 Bootsmannsgut.
9 Zimmermannsgut.
10 Pumpspill.
11 Gangspill.
12 Nagelbank.
13 Drachenwinde.
14 Winde für Stahlkabel.
15 Tanks für Petroleum.
16 Tanks für Naphtha.
17 Rudergeschirr.
18 Stonespumpe.
19 Winde 3 ts.
20 Fischnetzwinde 7 ts.
K Kohlenluke.
◎ Decksgläser.
○ Decksverschraubungen.
V Ventilator.