Jordan / Eggert / Kneißl

HANDBUCH DER VERMESSUNGSKUNDE

Zehnte Ausgabe

JORDAN / EGGERT / KNEISSL

Handbuch der Vermessungskunde

ZEHNTE, VÖLLIG
NEU BEARBEITETE UND NEU GEGLIEDERTE
AUSGABE

UNTER MITARBEIT VON
WILLI BECK, FRIEDRICH BENZ, RUDOLF BURKHARDT, HANS GAMPERL,
ANTON GRAF, FRITZ KURANDT, KARL LEDERSTEGGER, MARTHA NÄBAUER,
KARL RAMSAYER, KARL RINNER UND HEINZ WITKE
HERAUSGEGEBEN VON
MAX KNEISSL

J. B. METZLERSCHE VERLAGSBUCHHANDLUNG
STUTTGART

JORDAN / EGGERT / KNEISSL

Handbuch der Vermessungskunde

ZEHNTE, VÖLLIG
NEU BEARBEITETE UND NEU GEGLIEDERTE
AUSGABE

BAND Va
GRAVIMETRISCHE INSTRUMENTE
UND
MESSMETHODEN

VON
DR.-ING. ANTON GRAF
Professor an der Technischen Hochschule
München

MCMLXVII

J. B. METZLERSCHE VERLAGSBUCHHANDLUNG
STUTTGART

ISBN 978-3-476-99042-6
ISBN 978-3-476-99041-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-476-99041-9

Springer-Verlag GmbH Deutschland 1967
Ursprünglich erschienen bei J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung und Carl Ernst Poeschel Verlag
GmbH in Stuttgart 1967

Alle Rechte gemäß § 42 des Gesetzes über das Verlagsrecht vom 19. 6. 1901 vorbehalten.
Ohne Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, dieses Buch oder Teile
desselben auf dem Wege des photomechanischen Nachdrucks, der Photokopie oder
der Mikroverfilmung zu vervielfältigen.

Vorwort des Herausgebers

Bei der Neubearbeitung dieses Handbuches stellte der Verlag dem Herausgeber die Wahl seiner Mitarbeiter völlig frei. Dadurch konnte bei der Neuauflage die ganze Breite unseres Fachgebietes ausgeschöpft werden, so daß auch die Randgebiete unserer Wissenschaft weitgehend mit erfaßt und die Benutzer und Leser des Handbuches mit dem gegenwärtigen Umbruch der Geodäsie Schritt für Schritt vertraut gemacht werden konnten. Überdies können so bewußt solche Forscherpersönlichkeiten unserer Zeit als Autoren vorgestellt werden, die wesentlich bei der Entwicklung neuer, zukunftsweisender Meß- und Auswertemethoden und -geräte mitgewirkt haben.

Mit diesem Band aus der Feder eines der bedeutendsten Konstrukteure und Erfinder neuer gravimetrischer Meßgeräte werden sowohl die klassischen als auch die modernen Instrumente zur Messung der Schwerkraft oder Schwerebeschleunigung vorgestellt. Ich danke meinem treuen Freund und Weggefährten, Herrn *Professor Dr.-Ing. Anton Graf*, für seine stille und unermüdliche Arbeit. Besonderer Dank gebührt auch dem Verlag für die schöne und anspruchsvolle Ausstattung dieses neuen Bandes des Handbuchs.

München, im Juni 1967

MAX KNEISSL

Vorwort des Autors

Dieser Band des Handbuchs der Vermessungskunde behandelt die derzeit verwendeten Schweremeßinstrumente sowohl theoretisch als auch in bezug auf ihre Handhabung. Insbesondere wurde auf die praktische Meßtechnik und die bei allen Verfahren auftretenden Korrekturen eingegangen. Obwohl Pendel- und Drehwaagenmessungen heutzutage keine so große Rolle mehr spielen wie früher, wurden sie als klassische Methoden von der instrumentellen Seite her ebenso eingehend behandelt wie die statischen Geräte, weil das Reversionspendel bei der Schwereabsolutmessung trotz einiger neuerer Verfahren immer noch seine führende Rolle behauptet und Schweregradientenmesser insbesondere bei der Luftgravimetrie erneutes Interesse gefunden haben. Zwar ist es der Vertikalgradientenmesser, der dort immer wieder diskutiert wird und für dessen Entwicklung neue Vorschläge gemacht wurden, doch überschneidet sich die theoretische Behandlung eines solchen Gerätes mit der der Eötvösschen Drehwaage, insbesondere was die topographischen Korrekturen betrifft; daher wurde letztere, die als Meßgerät zwei Jahrzehnte lang (von 1920–1940) eine führende Stellung in der angewandten Geophysik eingenommen hat, ebenfalls eingehend dargestellt und diskutiert. Hinzu kommt, daß man im Zeitalter der Mondfahrt auch an solche Meßverfahren denken muß, die sich auf einem Erdtrabanten am besten durchführen lassen. Der Hauptgesichtspunkt dürfte dabei der große Meßbereich, die Driftfreiheit und die Eignung für telemetrische Übertragung der Meßwerte sein, alles Eigenschaften, die der Pendelapparat am besten erfüllen kann.

Besonders eingehend wurden die Probleme der Seegravimetrie besprochen. Drei Viertel der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Schweremesser, die auf fahrenden Überwasserschiffen und in Flugzeugen messen können, sind die einzigen Meßgeräte, mit welchen die Ozeane in einem Zeitraum von wenigen Jahrzehnten vermessen werden können. Unterwassergravimeter sind zwar wesentlich genauer, aber auch schwerfälliger und langsamer und für große Tiefen kaum geeignet. Die Entwicklung auf diesem Gebiet ist noch im Gange. Das Hauptproblem liegt nicht mehr bei der gravimetrischen Meßtechnik (obwohl auch hier noch Verbesserungen möglich und wünschenswert sind), sondern bei der Navigation. Die Benutzung von Satelliten als Ortungsmittel auf hoher See und zur Geschwindigkeitsbestimmung von Schiffen wird die bisherigen Unsicherheiten erheblich reduzieren helfen.

Dieser Band Va des Handbuchs beschränkt sich auf die instrumentelle und meßtechnische Seite der Gravimetrie. Er geht nicht auf die Anwendung und Bedeutung der Gravimetrie in der Geodäsie ein. K. Ledersteger wird dieses Problem in Bd. V behandeln.

Es ist mir ein Bedürfnis, an dieser Stelle zwei Männern zu danken, die mir bei der Entwicklung des Seegravimeters tatkräftig zur Seite standen. Es sind dies *Professor Dr.-Ing. habil., Dr.-Ing. E. h., Dr. techn. E. h. M. Kneißl*, der mir Werkstätte und Labor seines Institutes zur Verfügung stellte und mich mit Rat und Tat unterstützte, und *Professor Dr. L. Lamar Worzel, USA*, der für die Erprobung Meßfahrten organisierte und kein finanzielles Risiko scheute, um dem Unternehmen zum Erfolg zu verhelfen.

München, Mai 1967

ANTON GRAF

Inhalt

EINLEITUNG

DIE GRAVIMETRISCHEN INSTRUMENTE UND MESSMETHODEN

I

GERÄTE UND METHODEN ZUR ABSOLUTEN MESSUNG DER SCHWERKRAFT

I a

Die Reversionspendelmethode

§ 1	Das mathematische Pendel	3
§ 2	Das physikalische Pendel	7
§ 3	Das Reversionspendel	9
§ 4	Die Korrekturen bei der Reversionspendelmethode	10
§ 4a	Die Schwingung eines physikalischen Pendels um eine zylindrische Achse	10
§ 4b	Der Einfluß des Luftwiderstandes	13
§ 4c	Der Einfluß der Luftdämpfung	15
§ 4d	Das Mitschwingen des Pendelstatives	16
§ 4e	Zweipendelverfahren zur Bestimmung des Mitschwingens	20
§ 4f	Der Einfluß der Temperatur	23
§ 4g	Weitere Korrekturen bei absoluten Schweremessungen mit dem Reversionspendel	23
§ 5	Die Messung der Schwingungsdauer	24
	a) Das Koinzidenzverfahren	24
	b) Das Registrierverfahren	27
§ 6	Die Reversionspendelmessungen von L. Kater	30
§ 7	Das Reversionspendel von Repsold	32
§ 8	Die Schwereabsolutmessung von Kühnen und Furtwängler	32
§ 9	Die Schwereabsolutmessungen von Heyl und Clark	39
§ 9a	Die neueren Schwereabsolutmessungen mit dem Reversionspendel ..	45

Ib**Die Fadenpendelmethode**

§ 10	Der Besselsche Pendelapparat	48
------	------------------------------------	----

Ic**Die Freifallmethode bzw. Freiwurfmethode**

§ 11	Die bisherigen Schwereabsolutmessungen nach der Freifallmethode und die in Vorbereitung bzw. noch im Gang befindlichen	51
§ 12	Zusammenfassende Ergebnisse der neueren Schwereabsolutmessungen von 1936 bis 1966	60

II**GERÄTE UND METHODEN ZUR RELATIVEN MESSUNG
DER SCHWERKRAFT UND VON SCHWERKRAFTUNTERSCHIEDEN****IIa****Die Pendelmethode**

§ 13	Die Ermittlung des Mitschwingens bei Verwendung von zwei starren Pendeln	67
§ 14	Das Pendel für relative Schweremessungen	70
§ 15	Der Pendelapparat für relative Schweremessungen	72
§ 15a	Der Pendelapparat von R. v. Sterneek	72
§ 15b	Der Potsdamer Vierpendelapparat	73
§ 15c	Der Cambridger Zweipendelapparat	74
§ 15d	Der Askania-Vierpendelapparat	75
§ 15e	Der Zweipendelapparat der Gulf Research a. Development Comp. ...	79
§ 15f	Der Pendelapparat der Sowjetischen Akademie der Wissenschaften	87
§ 15g	Der Pendelapparat des Coast and Geodetic Survey (Washington, USA)	88
§ 15h	Der Pendelapparat der Commissione geodetica Italiana	88
§ 16	Praktische Hinweise beim Pendeln	88
§ 17	Die Schweremessungen im Unterseeboot. Der Pendelapparat von F. A. Vening Meinesz	90
§ 18	Die Korrekturen für relative Pendelmessungen	97
§ 19	Allgemeines zur relativen Schweremessung mit Pendelapparaten...	98

IIb**Die Gravimetermethode**

§ 20	Die Gravimetermeßsysteme	101
§ 21	Die Gravimeterfeder	122

§ 22	Die Ableseeinrichtung	127
§ 23	Kompensation des Meßausschlages. Eichmöglichkeit	135
§ 24	Arretierung, Druckkompensation, adiabatischer Effekt	138
§ 25	Neigungsempfindlichkeit	141
§ 26	Mikroseismik	142
§ 27	Temperatureinfluß	143
§ 28	Magnetische Einflüsse	148
§ 29	Dämpfung	148
§ 30	Zeitliche Gänge, Sprünge	149
§ 31	Praktische Hinweise bei Messungen im Gelände	153
§ 32	Die Askania-Gravimeter Gs 9, 11 und 12	155
§ 33	Das Gulf-Gravimeter	161
§ 34	Das Worden-Gravimeter	165
§ 35	Das Nörgaard-Gravimeter	167
§ 35a	Das Quarzgravimeter GAE-3 des sowjetischen geophysikalischen Komitees	170
§ 36	Das North-American-Gravimeter	171
§ 36a	Das LaCoste-Romberg-Gravimeter	174

IIc

Spezial-Gravimeter

§ 37	Das Unterwasser-Gravimeter	176
§ 38	Das See-Gravimeter	181
§ 38a	Das Luftgravimeter	227
§ 39	Das Gezeiten-Gravimeter	230

III

GERÄTE UND METHODEN ZUR MESSUNG VON HORIZONTALEN ANZIEHUNGSKRÄFTEN UND VON NEIGUNGEN

§ 40	Das Horizontalpendel	234
§ 41	Das Vertikalpendel als Lotschwankungsmeßgerät	244
§ 42	Die Extensometer	249

IV

SCHWEREGRADIENTENMESSER

§ 43	Die Eötvössche Drehwaage	254
	Literatur	282
	Übersetzung englischer Ausdrücke bei Bildbeschriftungen	303
	Personenverzeichnis	305
	Sachverzeichnis	307