

Die Wissenschaft

Sammlung naturwissenschaftlicher und
mathematischer Monographien

== Heft 36 ==

Grundlagen der Praktischen Metronomie

Von

Prof. Dr. Karl Scheel

Mitglied der Physikal. -Technischen Reichsanstalt



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

ANKÜNDIGUNG.

Das vorliegende 36. Heft der Sammlung „Die Wissenschaft“, wendet sich an weiteste Kreise, welche überhaupt an physikalischen Messungen ein Interesse haben. Es will alle diejenigen, die sich für physikalische Messungen interessieren, anregen, sich auf einem Spezialgebiet weiter zu unterrichten; das Büchlein bildet dadurch zugleich eine Ergänzung der bekannten Lehrbücher, welche die Anleitungen zu praktischen Messungen bezwecken. Es dürfte dieser Aufgabe um so mehr gerecht werden, als für seinen Gebrauch besondere Vorkenntnisse nicht vorausgesetzt sind und bei der Beschreibung der Methoden, insbesondere durch Einfügung von Beispielen, die praktischen Gesichtspunkte in den Vordergrund gerückt sind. — Außer den rein didaktischen Abschnitten, die sich auf die Messung von Länge, Masse und Raum beziehen, ist in der Einleitung ein kurzer geschichtlicher Abriß gegeben; in einem letzten Abschnitt sind Versuche behandelt, welche zur Sicherung des metrischen Maßsystems unternommen wurden.

Braunschweig, im Dezember 1910.

Friedrich Vieweg und Sohn.

DIE WISSENSCHAFT

SAMMLUNG
NATURWISSENSCHAFTLICHER UND MATHEMATISCHER
MONOGRAPHIEN

SECHSUNDREISSIGSTES HEFT

GRUNDLAGEN DER PRAKTISCHEN METRONOMIE

VON

PROF. DR. KARL SCHEEL

MITGLIED DER PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN REICHSANSTALT

MIT 39 ABBILDUNGEN IM TEXT

SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH

GRUNDLAGEN
DER
PRAKTISCHEN METRONOMIE

VON

PROF. DR. KARL SCHEEL

MITGLIED DER PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN REICHSANSTALT

MIT 39 ABBILDUNGEN IM TEXT

SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH

ISBN 978-3-663-00616-9 ISBN 978-3-663-02529-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-02529-0

Alle Rechte,
namentlich dasjenige der *Übersetzung in fremde Sprachen*, vorbehalten.

Copyright, 1911, by Springer Fachmedien Wiesbaden
Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig, Wiesbaden 1911
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1911

VORWORT.

Der Aufforderung des Herrn Professor Dr. Eilhard Wiedemann und der Verlagsbuchhandlung, die Metronomie in einem Bändchen der Sammlung „Die Wissenschaft“ zu behandeln, um so weitere Kreise für dies Spezialgebiet zu interessieren, habe ich gerne Folge geleistet. Es war mir aber dabei von vornherein klar, daß es unmöglich sei, das umfangreiche einschlägige Material auf dem knappen zur Verfügung stehenden Raume in allen Einzelheiten darzustellen. So entschloß ich mich denn, meine Aufgabe auf die Darstellung der „Grundlagen der praktischen Metronomie“ zu beschränken; auf Vollständigkeit soll dies Büchlein also, obwohl es alles Wesentliche enthalten wird, keinen Anspruch erheben.

Von der Metronomie dürfte jeder etwas wissen, der einmal ein physikalisches oder physikalisch-chemisches oder auch vielleicht chemisches Praktikum durchgemacht hat, doch ist dies Wissen vielfach recht lückenhaft. Um nur ein Beispiel zu geben, welches mir während meiner langjährigen Beschäftigung mit metronomischen Messungen am meisten aufgefallen ist: wie wenige Physiker vermögen die einfache Vorrichtung des Okularmikrometers (§ 16) richtig zu benutzen; ja viele von ihnen wissen gar nicht, daß ein solches Hilfsmittel für die Messungen überhaupt existiert.

Um den Gebrauch des Buches für jeden Interessenten zu erleichtern, sind keine besonderen Vorkenntnisse ange-

nommen; bei der Beschreibung der Methoden sind die rein praktischen Gesichtspunkte in den Vordergrund gerückt, theoretische Betrachtungen wurden fast ganz vermieden. Beispiele habe ich meist der eigenen Praxis entnommen; Prioritätsrechte sollen damit in keinem Falle begründet werden.

Außer den rein didaktischen Abschnitten I bis V, die sich auf Messung von Länge, Masse und Raum beziehen, ist in der Einleitung ein kurzer geschichtlicher Abriß gegeben; in einem VI. Abschnitt sind dann die Versuche behandelt, welche zur Sicherung des metrischen Maßsystems unternommen wurden. Ähnliche Versuche anzustellen, werden die Fachgenossen natürlich nur selten in der Lage sein; sich mit dem Studium der Anordnung und Ausführung dieser Versuche ein wenig zu beschäftigen, bietet aber schon an sich einen hohen Genuß.

Ich habe eine Zeitlang geglaubt, dem Büchlein ein Kapitel über Fehlerrechnung angliedern zu sollen; doch habe ich schließlich davon Abstand genommen, weil diese Materie in den ersten Kapiteln des Lehrbuchs der praktischen Physik von Kohlrausch in einer für den vorliegenden Zweck vollkommen ausreichenden Weise behandelt ist. Die Methode der kleinsten Quadrate, auf die an einzelnen Stellen des Buches Bezug genommen ist, wird also als bekannt vorausgesetzt.

Wer sich über metronomische Messungen weiter unterrichten will, als ihn etwa die Zitate, die auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben können, dazu hinleiten, mag in erster Linie auf das ausführliche Lehrbuch von B. Weinstein: Physikalische Maßbestimmungen (Berlin, Julius Springer, 1886 u. 1888), aufmerksam gemacht werden. Ferner aber bieten die Veröffentlichungen der auf metronomischem Gebiet besonders arbeitenden Institute, die Wissenschaftlichen Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

und diejenigen der Kaiserl. Normal-Eichungs-Kommission (mit den vorhergehenden „Metronomischen Beiträgen“), ferner die Procès Verbaux und die Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures u. a. m. ein reiches Material für metronomische Studien. Zur bequemen Einführung in die Arbeiten des letztgenannten Institutes sei eine zusammenfassende Veröffentlichung von Ch. Ed. Guillaume, *La convention du mètre et le Bureau international des Poids et Mesures* (Paris, Gauthier-Villars, 1902), bestens empfohlen.

Wilmersdorf bei Berlin, im November 1910.

Der Verfasser.

INHALTSVERZEICHNIS.

	Seite
Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	IX

Einleitung.

§ 1. Maßeinheiten	1
§ 2. Einheit der Zeit	2
§ 3. Einheiten der Länge und der Masse	2
§ 4. Aufgaben der Metronomie	3
§ 5. Ältere Einheiten für Länge und Masse	3
§ 6. Vereinheitlichung des Maßsystems. Das Meter	5
§ 7. Das Kilogramm	7
§ 8. Das Raummaß. Kubikdezimeter und Liter	7
§ 9. Ausbreitung des metrischen Maßsystems	8
§ 10. Tätigkeit des Bureau international des Poids et Mesures	9

I. Abschnitt.

Längenmessungen.

§ 11. Strichmaße und Endmaße	10
§ 12. Einfache Längenmessungen an Strichmaßen	11
§ 13. Mikroskop	11
§ 14. Nonius	12
§ 15. Schraubenmikrometer	13
§ 16. Okularmikrometer	13
§ 17. Komparator	15
§ 18. Transversalkomparator	15
§ 19. Kathetometer	20
§ 20. Longitudinalkomparator	20
§ 21. Schraubenteilmachine	23
§ 22. Herstellung von Teilungen	23
§ 23. Untersuchung von Teilungen	24

	Seite
§ 24. Fehler und Korrektion	26
§ 25. Bestimmung der inneren Teilungsfehler nach der Methode von Hansen	28
§ 26. Erweiterte Hansensche Methode	29
§ 27. Methode des Durchschiebens (Thiesen, Leman)	32
§ 28. Fehler von Schrauben	35
§ 29. Fortschreitende Schraubenfehler	36
§ 30. Periodische Schraubenfehler	36
§ 31. Formen der Endmaße	43
§ 32. Anschluß der Endmaße an Strichmaße	44
§ 33. Vergleichung und Unterteilung von Endmaßen	47
§ 34. Mikrometerschraube	47
§ 35. Meßmaschinen	48
§ 36. Sphärometer	49
§ 37. Messung der Höhenunterschiede von Quecksilbersäulen	50

II. Abschnitt.

**Einfluß der Temperatur bei den Längenmessungen.
Wärmeausdehnung.**

§ 38. Material der Maßstäbe	58
§ 39. Normaltemperatur eines Maßstabes	60
§ 40. Temperaturskale	61
§ 41. Quecksilberthermometer	62
§ 42. Platinthermometer	65
§ 43. Thermoelement	67
§ 44. Messung der Wärmeausdehnung auf dem Komparator	67
§ 45. Beispiel für eine Ausdehnungsbestimmung	68
§ 46. Messung der Wärmeausdehnung nach der Interferenzmethode	71
§ 47. Messung der Ausdehnung durch Wägung	77
§ 48. Bäder konstanter Temperatur	78

III. Abschnitt.

Massenmessungen.

§ 49. Allgemeine Aufgabe	82
§ 50. Die gleicharmige Wage	83
§ 51. Beispiele von Wagenkonstruktionen	88
§ 52. Gleichgewichtslage der Wage	94
§ 53. Wägung durch Substitution nach Borda	95
§ 54. Wägung durch Vertauschen nach Gauß	96
§ 55. Vollständige Wägung	99
§ 56. Vergleichung mehrerer nahe gleicher Massen	101
§ 57. Massennormale	103
§ 58. Massensätze und ihre Etalonnierung	107

IV. Abschnitt.

**Einfluß äußerer Verhältnisse auf die Wägungen.
Ihre Berücksichtigung.**

	Seite
§ 59. Änderung der Schwere mit der Höhe	111
§ 60. Einfluß der Luftdichte	112
§ 61. Bestimmung der Luftdichte aus meteorologischen Beobach- tungen	113
§ 62. Messung der Lufttemperatur	114
§ 63. Messung des Luftdrucks	115
§ 64. Messung der Spannkraft des Wasserdampfes	116
§ 65. Experimentelle Bestimmung der Luftdichte während der Wägung	117
§ 66. Wägungen im Vakuum	119
§ 67. Aufbau von Massen beliebigen Volumens	123

V. Abschnitt.

Raummessungen.

§ 68. Volumenbestimmung durch Linearmessung	124
§ 69. Pyknometer	125
§ 70. Volumen aus Masse und Dichtigkeit	125
§ 71. Volumenbestimmung durch Wägung in einer Flüssigkeit .	126
§ 72. Dichte des Wassers	127
§ 73. Ausführung hydrostatischer Wägungen	131
§ 74. Bestimmung der kubischen Ausdehnung eines Körpers durch hydrostatische Wägung	135
§ 75. Bestimmung eines Gefäßinhalts durch Wägung	135
§ 76. Bestimmung der Wärmeausdehnung eines Hohlkörpers durch Wägung	137
§ 77. Dichte des Quecksilbers	137
§ 78. Volumenometer	138
§ 79. Bestimmung äußerer Volumina mit dem Volumenometer .	141

VI. Abschnitt.

Sicherungen des metrischen Maßsystems.

§ 80. Interferenzerscheinungen	142
§ 81. Auswertung des Meters in Lichtwellenlängen. Versuche von Michelson	144
§ 82. Versuche von Benoit, Fabry und Perot	152
§ 83. Anschluß der Masseneinheit an die Längeneinheit	155

Anhang.

Tabellen.

	Seite
1. Werte von $a = \frac{0,0012928}{1 + 0,00367t}$ und $\log a$	160
2. Werte von $\log \frac{h}{760}$	161
3. Sättigungsdrucke e' des Wasserdampfes	161
4. Spezifisches Gewicht des Quecksilbers	161
5. Spezifisches Gewicht des luftfreien Wassers	162
6. Volumen eines Quecksilbermeniskus in cmm	163
Alphabetisches Register	164

EINLEITUNG.

§ 1. **Maßeinheiten.** Eine Größe messen heißt sie mit einer anderen derselben Art vergleichen, dergestalt, daß man ziffernmäßig angeben kann, wievielmals sie größer oder kleiner ist als diese. Diejenige Größe, welche man der Vergleichung zugrunde legt, nennt man Maßeinheit oder schlechtweg Einheit, und es ist leicht einzusehen, daß es zweckmäßig ist, für Messungen aller gleichartiger Größen dieselbe Einheit zugrunde zu legen und die Größe dieser Einheit durch Übereinkunft ein für allemal festzusetzen.

Die Zahl der verschiedenartigen Einheiten ist eine sehr große. Während sie ursprünglich überwiegend dem Gebiete der Mechanik angehörten, wie z. B. die Einheiten der Kraft, der Geschwindigkeit, der Beschleunigung u. a. m., haben namentlich in den letzten Jahrzehnten alle übrigen Zweige der Physik dazu beigetragen, die Zahl der Einheiten zu vermehren, in demselben Umfange, wie die Notwendigkeit hervortrat, die Vorgänge in diesen einzelnen Disziplinen quantitativ zu verfolgen: Tonstärke, Wärmemenge, optische Drehung sind einige wenige Beispiele hierfür. Insbesondere hat aber die Elektrizitätslehre Veranlassung zur Schaffung zahlreicher Einheiten gegeben und der weitere Ausbau der Elektrotechnik strebt danach durch nötige oder unnötige Einführung neuer Namen die Zahl der Einheiten noch weiter zu vermehren.

Die Größe jeder physikalischen Einheit läßt sich zunächst vollkommen willkürlich festsetzen. Es hat sich aber schon frühzeitig die Erkenntnis Bahn gebrochen, daß es nützlich ist, die Einheiten eines und desselben Zweiges der Physik, welche eine gewisse Beziehung zueinander haben, auch in einer gewissen Abhängigkeit voneinander zu definieren. Dieser Gedanke wurde besonders fruchtbar, als es in der ersten Hälfte des vorigen Jahr-

hundreds gelang, Brücken zwischen den einzelnen großen scheinbar ganz verschiedenartigen Zweigen der Physik zu schlagen. Waren elektrische Energie, Wärmemenge und mechanische Arbeit nur verschiedene Formen einer und derselben Energie, welche sich nach feststehenden Verhältnissen unter gewissen Umständen ineinander überführen ließen, so war es nur natürlich sie mit demselben Maße, mit Zugrundelegung einer und derselben Einheit zu messen.

Aus dieser Erkenntnis heraus entwickelte sich, begünstigt durch den schnellen Ausbau der Elektrizitätslehre, ein alle Zweige der Physik umfassendes einheitliches Maßsystem, welches auch das absolute genannt wird. In diesem Maßsystem stehen alle Einheiten miteinander in festen Beziehungen; alle gemeinsam bauen sich wieder auf drei Einheiten auf, welche man auch die Grundeinheiten nennt, diejenigen der Länge, Masse und Zeit.

§ 2. Einheit der Zeit. Die Grundeinheit der Zeit ist schon im Altertum aus der Drehung der Erde um ihre Achse abgeleitet und ist auch in dieser Form, nämlich als der 86 400. Teil des mittleren Sonnentages unter der allen Kulturvölkern gemeinsamen Bezeichnung der Sekunde in das absolute Maßsystem aufgenommen. Diese Einheit zu reproduzieren ist eine Aufgabe der Astronomie. Es geschieht das dadurch, daß man den Gang von Pendeluhrn oder anderen ähnlichen Mechanismen, welche geeignet sind, gegebene Zeiten selbsttätig zu unterteilen, durch Beobachtung des Laufes der Himmelskörper, namentlich aus dem Durchgang der Sonne durch in den Meridian montierte Fernrohre kontrolliert. — Auf Einzelheiten solcher Messungen soll hier nicht eingegangen werden.

§ 3. Einheiten der Länge und der Masse. Die Einheiten der Länge und der Masse sind im Laufe der Jahrhunderte keineswegs so feststehend gewesen wie die Einheit der Zeit. Es liegt das wohl daran, daß man beide Einheiten nicht ebenso wie diese an unveränderliche Erscheinungen anknüpfen konnte, daß man vielmehr genötigt war willkürliche Festsetzungen zu treffen, die entweder ungenügend genau waren, oder aber, wenn sie zur Schaffung von Etalons führten, infolge der Veränderlichkeit derselben den Keim der Vergänglichkeit in sich trugen.

Erst der neuesten Zeit blieb es vorbehalten, auch die Einheiten der Länge und der Masse an scheinbar unveränderliche

Größen anzuknüpfen, indem man die Einheit der Länge von den Dimensionen der Erde und die Einheit der Masse von derjenigen der Länge durch eine physikalische Definition ableitete.

Der ursprünglichen Absicht nach ist die Einheit der Länge, das Meter, der 10^7 . Teil des vom Pol zum Äquator gerechneten Erdquadranten, die Einheit der Masse, das Kilogramm, die Masse eines Kubikdezimeters Wasser im Zustande der größten Dichte. In Wirklichkeit werden aber auch diese beiden Einheiten wieder durch Etalons verkörpert, welche sich ihrem Definitionswert nur bis zu einem gewissen Grade annähern

Es ist die gemeinsame Aufgabe der Astronomie und Geodäsie die Abweichung der Längeneinheit von ihrem Definitionswert mit immer wachsender Genauigkeit festzulegen, damit der die Längeneinheit verkörpernde Etalon, falls er einmal verloren gehen sollte, mit größtmöglicher Genauigkeit wiederhergestellt werden kann.

§ 4. Aufgaben der Metronomie. Demgegenüber ist es die Aufgabe der Metronomie genannten Wissenschaft irgendwelche sekundäre Etalons der Längen- und Masseneinheit, auch ältere Einheiten an die ursprünglichen Etalons mit größtmöglicher Genauigkeit anzuschließen, d. h. die gegenseitigen Abweichungen festzustellen. Hierzu bedarf es der Kenntnis einer Reihe von Nebenerscheinungen, deren Studium also gleichfalls in das Gebiet dieser Wissenschaft fällt.

Daneben hat aber auch die Metronomie nach Mitteln zu suchen, um die Fundamenteinheiten der Länge und Masse auf andere Weise sicher zu stellen als es durch Astronomie und Geodäsie geschehen kann. Dieser Zweig der Metronomie hat sich nach zwei Richtungen entwickelt. Einerseits ist es gelungen, die Längeneinheit auf die Wellenlänge bestimmter Strahlungen zurückzuführen, andererseits haben ungemein mühsame Arbeiten zu einer verhältnismäßig sicheren Kenntnis der wahren Beziehung der Massen- zur Längeneinheit geführt.

§ 5. Ältere Einheiten für Länge und Masse. Die im Altertum gebräuchlichen Maßeinheiten haben in unserer Zeit mit ihrer auf Vereinheitlichung gerichteten Bestrebung nur noch ein rein historisches Interesse. Man erkennt aber, daß trotz der Buntscheckigkeit der Ausführung sich durch die Geschichte der Metronomie schon bei den ältesten Kulturvölkern wie ein roter

Faden der Gedanke hindurchzieht, die Maßeinheiten von den Längen des menschlichen Körpers abzuleiten. Fuß, Schritt, Spanne sind bezeichnende Beispiele hierfür. Indessen nur vereinzelt waren diese Einheiten verkörpert, ihre Größe war, wie die Maße bei den verschiedenen Individuen des Volkes, eine schwankende, und es ist charakteristisch hierfür, daß alte Schriftsteller Maße von Baulichkeiten, von Weglängen fast ausnahmslos in runden Zahlen angeben. Vereinzelt finden wir Verkörperungen der gebräuchlichen Maßeinheiten der Länge an öffentlichen Gebäuden angebracht, um jedermann Gelegenheit zu geben, seinen Maßstab zu verifizieren. Meist sind dies in Stein gehauene Lehren, die aber bei fleißiger Benutzung dem Zahne der Zeit zum Opfer fallen und degenerieren mußten.

Noch unbestimmter sind unsere Kenntnisse über die Einheiten der Masse im Altertum. Wohl am meisten Interesse bietet für unsere heutige Zeit das römische Gewichtssystem, das sich bis vor kurzem noch in unseren jetzt auch beseitigten Apothekergewichten erhalten hatte.

Nicht wesentlich günstiger als im Altertum liegen die Verhältnisse für Einheiten von Länge und Masse im Mittelalter und in der neueren Zeit; nur beobachtet man mit Zunahme des Verkehrs und des Handels ein immer steigendes Bedürfnis, die Maße zu fixieren und ihre Kopierung zu verfeinern. Trotzdem blieb die Mannigfaltigkeit bestehen, teils aus Liebe am Althergebrachten, teils aus nationaler Eitelkeit. Wieweit die Verschiedenheit ging, möge durch die folgenden, keineswegs vollständigen Tabellen für Fuß und Pfund erläutert werden ¹⁾.

Längenmaße.

Baden	1 Fuß = 0,3	m.	Einteilung in 10 Zoll zu je 10 Linien
Bayern	1 „ = 0,2919	„	„ 12 „ „ „ 12 „
Preußen	1 „ = 0,3139	„	„ 12 „ „ „ 12 „
Sachsen	1 „ = 0,2832	„	„ 12 „ „ „ 12 „
Württemberg .	1 „ = 0,2865	„	„ 10 „ „ „ 10 „
England	1 „ = 0,3047	„	„ 12 „ „ „ 12 „
Österreich . . .	1 „ = 0,3161	„	„ 12 „ „ „ 12 „
Schweden	1 „ = 0,2969	„	„ 10 „ „ „ 10 „

¹⁾ Ausführlichere Angaben s. in Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen. Berlin, Springer.

Massenmaße.

Baden: 1 Pfund = 0,5 kg. Einteilung in 32 Lot.

Bayern und Österreich: 1 Pfund = 0,5600 kg. Einteilung in 32 Lot.

Preußen bis 1839: 1 Pfund = 0,4677 kg. Einteilung in 32 Lot.

Zollgewicht von 1840 an, von 1858 an auch Handelsgewicht:

1 Pfund = 0,5 kg. Einteilung in 30 Lot.

Sachsen: 1 Pfund = 0,4676 kg. Einteilung in 4 Pfenniggewicht zu je 2 Hellergewicht.

England: a) Das Troygewicht.

1 Pfund = 0,3732 kg. Einteilung in 12 ounces zu je 20 pennyweights.

b) Das Avoirdupoisgewicht (das Handelsgewicht).

1 Pfund = 0,4536 kg. Einteilung in 16 ounces zu je 16 drams.

Schweden: 1 Pfund = 0,4251 kg. Einteilung in 32 Lot.

§ 6. Vereinheitlichung des Maßsystems. Das Meter.

Es hat nicht an Vorschlägen seitens einzelner weitblickender Männer gefehlt, dieser Zersplitterung des Maß- und Gewichtswesens im Interesse eines gedeihlichen Handels und Wandels auch über die Grenzen des Landes hinaus durch internationale Vereinbarung ein Ende zu machen.

Der erste, welcher in dieser Richtung einen Schritt vorwärts tat, scheint Huyghens gewesen zu sein. Er schlug vor, die Länge des einfachen Sekundenpendels, weil mit der Zeit unveränderlich und stets experimentell reproduzierbar, einem neu zu schaffenden Maßsystem zugrunde zu legen. Indessen kurze Zeit nach diesem Vorschlage machte Richer bei seinen in Cayenne angestellten Pendelversuchen die Beobachtung, daß die Länge des Sekundenpendels auf der Erdoberfläche nicht konstant sei, sondern sich mit der geographischen Breite ändere. Einmal aus diesem Grunde, dann aber auch, weil die Wahl des Sekundenpendels als Längeneinheit die Einführung eines neuen Elementes, der Zeit, notwendig machte, faßte eine von der französischen Regierung im Jahre 1790 eingesetzte Kommission, bestehend aus Borda, Lagrange, Laplace und anderen Gelehrten, den Beschluß, das Sekundenpendel als Längeneinheit abzulehnen. Dagegen schlugen sie vor, ein neues Längenmaß direkt von den Dimensionen der Erdoberfläche abzuleiten, indem sie den 10 000 000. Teil des vom Pol zum Äquator gemessenen Erdquadranten als neue Längeneinheit unter dem Namen „des Meter“ bestimmten.

Die Wiege unserer heutigen Längeneinheit steht also in Frankreich, wo auch die ersten Versuche zu ihrer Fixierung angestellt wurden. Das alte Längenmaß in Frankreich war die Toise, verkörpert durch die Toise du Châtelet, eine eingemauerte, aus Eisen gebildete Lehre, welche zur Justierung aller im 17. und 18. Jahrhundert verfertigten Toisenmaßstäbe gedient hat. Unter diesen Toisenmaßstäben sind zwei zu ganz besonderer Berühmtheit gelangt, nämlich diejenigen, welche in den Jahren 1735 bis 1737 zu Gradmessungen in Lappland und in Peru dienten. Namentlich die letztere, die Toise de Pérou, wurde, nachdem die in Lappland benutzte Toise du Nord bei einem Schiffbruch unbrauchbar geworden war, in der Folgezeit dazu bestimmt, das Toisenmaß an Stelle der im Laufe der Zeit stark beschädigten Toise du Châtelet zu verkörpern. Die aus Eisen bestehende Toise de Pérou war ein ausgespartes Endmaß; gleichzeitig war aber auf derselben Eisenstange die Länge der Toise durch zwei Punkte markiert. Beide Entfernungen, das Endmaß und das Punktmaß, wurden als gleich erachtet; erst viel später wurde durch genauere Messungen ein Unterschied beider Entfernungen um etwa 0,1 mm festgestellt. Die Toise ist eingeteilt in 6 Fuß zu je 12 Zoll; ein Zoll enthält 12 Linien.

Gemäß dem Vorschlage der obengenannten, im Jahre 1790 eingesetzten Kommission fand in den folgenden Jahren eine Gradmessung statt, welche sich von Dünkirchen nach Barcelona erstreckte und deren Endergebnis war, daß die Länge des Meters zu 441,296 Linien der Toise de Pérou bestimmt und gesetzlich festgesetzt wurde. Verkörpert wurde die neue Längeneinheit durch einen Endmaßstab aus Platin, welcher im Conservatoire des arts et métiers in Paris aufbewahrt wurde und unter dem Namen des „mètre des Archives“ das Urmaß für alle späteren Meterstäbe geworden ist.

Es liegt in der Natur der Sache, daß die Verfeinerung der geodätischen Messungen zu späteren Zeiten zu einer etwas anderen Größe der aus dem Erdquadranten definierten Längeneinheit geführt hätte. Um so überraschender ist es, daß durch ein Spiel des Zufalles die damalige Gradmessung Dünkirchen—Barcelona einen bis auf weniger als $\frac{1}{10\,000}$ mit dem Definitionswert übereinstimmenden Wert des Meters ergeben hat; die Länge des Erdquadranten ist nach den besten neuesten Messungen zu

10 000 856 m anzunehmen. Auf Grund solcher Zahlen die Längeneinheit zu ändern, würde unzweckmäßig sein, da es weniger darauf ankommt, daß die Längeneinheit gerade ein durch eine Potenz von zehn ausgedrückter Teil des Erdquadranten ist, als daß die Länge der Einheit im Interesse der Kontinuität ein für allemal festgelegt ist. Außerdem ist naturgemäß auch die obige Zahl für die Länge des Erdquadranten noch mit Fehlern behaftet, deren Größe erst durch immer wieder neue geodätische Messungen eingengt werden kann.

§ 7. Das Kilogramm. Die obengenannte von der französischen Regierung im Jahre 1790 eingesetzte Kommission hatte sich außer mit der Frage der Längeneinheit zugleich mit der Aufgabe der Schaffung einer neuen Masseneinheit befaßt. In ihrem im Jahre 1791 erstatteten Bericht schlug sie als Resultat ihrer Beratungen vor, die Masseneinheit auf die Längeneinheit zu gründen, und sie als die Masse eines durch die neue Längeneinheit gemessenen Volumens Wasser von 0°, gewogen im Vakuum, festzusetzen. Dieser Vorschlag ist später insofern etwas modifiziert, als man für das Wasser nicht die Temperatur 0°, sondern den Zustand größter Dichte festsetzte.

Der Vorschlag der Kommission wurde durch die Arbeiten von Lefèvre-Gineau in die Tat umgesetzt, welcher mit Hilfe eines linear ausgemessenen Messingzylinders die Größe der neuen Masseneinheit, des Kilogramms, durch Wägung bestimmte. Auf Grund dieser Versuche wurde sofort ein Platinzylinder hergestellt, der als „kilogramme des Archives“ die Masseneinheit des metrischen Systems bildete.

§ 8. Das Raummaß. Kubikdezimeter und Liter. Das Raummaß kann einmal direkt aus dem Längenmaß abgeleitet und durch den Kubus der Längeneinheit ausgedrückt werden. Einheit des Raummaßes wird hiernach das Kubikmeter, an Stelle dessen im praktischen Leben vielfach das Kubikdezimeter gesetzt wird.

Andererseits kann man aber auch einen Rauminhalt durch Auswägen mit einer Flüssigkeit, insonderheit mit Wasser bestimmen. Als Einheit des Raumes gilt in diesem Falle derjenige Raum, den 1 kg Wasser im Zustande seiner größten Dichte einnimmt. Diese Raumeinheit bezeichnet man als das Liter.

Kubikdezimeter und Liter würden gleiche Einheiten sein, wenn es seinerzeit gelungen wäre, das Kilogramm genau seiner Definition entsprechend herzustellen. Da das aber wahrscheinlich nicht der Fall ist, so bleibt zwischen Kubikdezimeter und Liter eine kleine Differenz, über deren Größe im § 83 einige Angaben gemacht werden sollen. Für die Zwecke des praktischen Lebens sind Kubikdezimeter und Liter als gleich zu erachten.

§ 9. Ausbreitung des metrischen Maßsystems¹⁾. Die neuen Maßeinheiten gewannen selbst in Frankreich nur langsam Boden. Nach Überwindung mancher Schwierigkeiten konnten sie erst durch Gesetz vom 4. Juli 1837 dort allgemein eingeführt werden.

Für die Einführung des Meters in Preußen geschahen die ersten Schritte in den Jahren 1859 und 1863, in welchen eine aus Regnault, Le Verrier, Morin und Brix bestehende Kommission Vergleichen eines Preußen gehörenden Platinstabes mit dem mètre des Archives ausführte. Auf Grund dieser Vergleichen wurde dann durch Gesetz vom 17. August 1868 das Meter als Längeneinheit im Norddeutschen Bunde bestimmt.

Eine weitere Einführung des metrischen Maßsystems wurde dadurch stark beeinträchtigt, daß die Schaffung von nationalen Urmaßen in jedem Falle von der Mitarbeit Frankreichs abhängig war, die erst von Fall zu Fall erwirkt werden mußte. Bei dieser Sachlage faßte die im Jahre 1867 in Berlin tagende geodätische Konferenz für eine Gradmessung in Mitteleuropa den Beschluß, um eine gemeinsame Maßeinheit für alle europäischen Länder und für alle Zeiten so genau und unveränderlich wie möglich sicher zu stellen, die Schaffung eines neuen europäischen Meterprototyps zu empfehlen. Die Länge dieses Meters sollte möglichst wenig von dem mètre des Archives abweichen, auf jeden Fall aber sollte das neue Meterprototyp mit dem mètre des Archives mit größter Schärfe verglichen werden. Die Herstellung des neuen Urmaßes, die Schaffung und Vergleichung von Kopien für die einzelnen Länder sollte einer internationalen Kommission anvertraut werden, in welcher die interessierten Staaten vertreten wären.

¹⁾ Über den gegenwärtigen Stand vgl. Ch. Éd. Guillaume, Les récents progrès du système métrique. Proc. Verb. du Comité intern des Poids et Mes. (2) 5, 21 S. (1909).

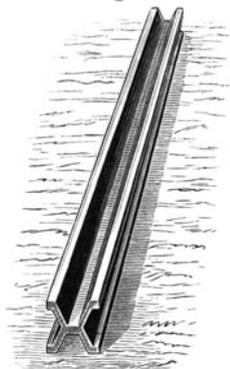
Diese Vorschläge führten zunächst zur Einberufung einer internationalen Konferenz, die ihre erste Sitzung im Jahre 1870 in Paris abhielt. Erst am 20. Mai 1875 wurde die Convention diplomatique du Mètre von den Vertretern von 18 Staaten unterzeichnet. Gemäß diesem Vertrage sollte auf gemeinschaftliche Kosten ein wissenschaftliches Institut unter dem Namen Bureau international des Poids et Mesures mit dem Sitze in Paris gegründet werden, welches alle auf Herstellung und Erhaltung eines internationalen Maßsystems bezüglichen Fragen studieren sollte. Namentlich sollte das Bureau alle Vergleichen und Verifikationen der neuen Meter- und Kilogrammprototype ausführen, die internationalen Prototype aufbewahren, periodische Vergleichen der nationalen Etalons mit den internationalen Prototypen vornehmen, die in den verschiedenen Ländern und in der Wissenschaft gebräuchlichen nicht metrischen fundamentalen Etalons für Länge und Masse an die neuen Prototype anschließen, sowie die Etalonnierung und Vergleichung geodätischer Maßstäbe ausführen. Die Aufsicht über das Bureau wurde dem Comité international des Poids et Mesures übertragen, dem Vertreter aller vertragschließenden Staaten angehörten.

§ 10. Tätigkeit des Bureau international des Poids et Mesures. Das internationale Maß- und Gewichts-bureau begann seine Tätigkeit am 1. Januar 1876 und zwar in dem ihm von der französischen Regierung eingeräumten Pavillon de Breteuil in Sèvres bei Paris, und hat seither mit den ihm zur Verfügung gestellten besten Hilfsmitteln seine großen Aufgaben zielbewußt gefördert und auf dem Gebiete der Präzisionsmessungen Hervorragendes geleistet.

Die erste Aufgabe des internationalen Bureaus bestand in der genauen Kopierung der Urmaße, des „mètre“ und des „kilogramme des Archives“, welche sich für das Meter noch insofern schwierig gestaltete, als das mètre des Archives ein Endmaß war, welches mit dem internationalen Strichmeter in Beziehung gesetzt werden mußte. Nach diesen internationalen Kopien wurden dann in großer Zahl die Etalons hergestellt, welche den das Bureau unterhaltenden Staaten als Prototype zur Regelung des eigenen Maß- und Gewichtswesens zu übereignen waren. Als Material für alle Urmaße wählte man, an Stelle des weichen und darum

zu wenig widerstandsfähigen Platins, eine Legierung von Platin mit 10 Proz. Iridium. Hinsichtlich der Form der Meteretalons entschied man sich aus Gründen der Festigkeit nach eingehenden

Fig. 1.



Versuchen Trescas für einen sogenannten X-förmigen Querschnitt; ein Maßstab von diesem Querschnitt ist in Fig. 1 dargestellt. Das ganze Profil ist in einem Quadrat von 20 mm Seitenlänge enthalten; das Metall hat meist eine Stärke von 3 mm, nur der Unterbau ist etwas geschwächt, um den Querschnittsschwerpunkt in die Ebene der Teilung zu bringen, welche genau in halber Höhe des Maßstabes liegt. Die Ebene der Teilung fällt auf diese Weise mit der sogenannten neutralen Fläche zusammen, wodurch die größtmögliche Unabhängigkeit des Abstandes der Striche von dem

Einfluß aller Durchbiegungswirkungen erreicht ist. Die nationalen Meterprototypen sind mit dem internationalen Prototyp mit einem wahrscheinlichen Fehler von 1 bis 2 Zehntausendstel des Millimeter verglichen.

Die Kilogrammprototypen sind gerade Zylinder von 39 mm Höhe und gleichem Durchmesser mit abgerundeten Kanten; die Massen dieser Kilogramme sind mit einem wahrscheinlichen Fehler von etwa $\pm 0,002$ mg an das internationale Prototyp angeschlossen.

Zur Sicherung des gesamten internationalen Maß- und Gewichtswesens sind regelmäßig wiederkehrende Kontrollvergleiche aller Prototypen vorgesehen.

Erster Abschnitt.

Längenmessungen.

§ 11. **Strichmaße und Endmaße.** Man teilt die Maßstäbe ein in Strichmaße und Endmaße. Bei den ersteren ist die zu verkörpernde Länge durch die Entfernung zweier Striche, bei

den letzteren durch den Abstand der Begrenzungsflächen gegeben. In diesem Abschnitt ist zu zeigen, wie beide Arten von Maßstäben untereinander zu vergleichen sind, ferner wie die Länge von Endmaßen auf diejenige von Strichmaßen zurückzuführen ist.

Beide Arten von Längenmaßen lassen sich unterteilen. Während aber ein Strichmaß eine große Anzahl von Intervallen, eine Teilung, auf sich vereinigen kann, ist durch ein Endmaß im allgemeinen immer nur eine Länge verkörpert. Wie beide Arten von Teilintervallen auf höhere oder niedere Einheiten zurückzuführen sind, wird ebenfalls im folgenden auseinandergesetzt werden.

Dagegen soll noch nicht erörtert werden, welche Veränderungen mit den Maßkörpern unter dem Einfluß der Erwärmung vor sich gehen. Hierüber wird der nächste Abschnitt Auskunft geben.

§ 12. Einfache Längenmessungen an Strichmaßen.

Die einfachste Längenmessung ist die direkte Vergleichung. Man legt die beiden Maßstäbe mit den Teilungen aneinander und schätzt, wieviel der eine an jedem Ende länger oder kürzer ist als der andere. Die Summe beider Unterschiede mit dem passenden Vorzeichen genommen gibt den Gesamtunterschied.

Eine zweite Art der Vergleichung besteht darin, daß man die eine Länge in einen Zirkel, am besten einen Stangenzirkel, faßt und auf die andere Länge überträgt. Auch hier ergibt sich der Gesamtlängenunterschied als algebraische Summe der Einzeldifferenzen.

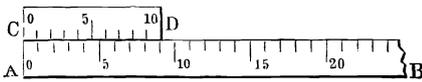
Diese zweite Art der Vergleichung läßt sich zunächst dadurch verfeinern, daß man die Zirkelspitzen durch optische Visiere ersetzt. Optische Visiere sind Vorrichtungen, welche dem beobachtenden Auge immer dieselbe Sehrichtung gewährleisten. In ihrer einfachsten Form würden sie aus zwei mit dem Stangenzirkel irgendwie verbundenen und mit dem zu beobachtenden Strich parallelen Kanten bestehen; die zu beiden Seiten des Stangenzirkels auf diese Weise gebildeten Visierrichtungen müssen einander parallel und senkrecht zu dem jedesmal anzuvisierenden Maßstab sein.

§ 13. Mikroskop. An die Stelle des einfachen Visiers tritt bei exakteren Messungen das Mikroskop. Durch das Objektiv des Mikroskops wird von dem einzustellenden Objekt ein reelles

Bild entworfen, welches durch das Okular betrachtet wird. Dort wo das reelle Bild auftritt, befindet sich als Visiereinrichtung ein Faden oder mehrere, die ebenfalls durch das Okular wahrgenommen werden. Das Visieren erfolgt in der Weise, daß das einzustellende Objekt durch Verschieben des Mikroskops mit dem Faden zur Deckung gebracht wird. An Stelle des einen Fadens ist häufig ein Fadenkreuz zweckmäßig; bei metronomischen Messungen, bei denen in der Regel Striche oder strichähnliche Gebilde anvisiert werden, wählt man Fadenpaare, mit welchen man den einzustellenden Strich in die Mitte nimmt. Oft ist das Mikroskop auch mit mehreren solchen — engeren und weiteren — Fadenpaaren ausgerüstet, um auf verschieden dicke Striche bequem einstellen zu können.

§ 14. **Nonius.** Um das Mikroskop leicht auf das Objekt einstellen, d. h. senkrecht zur Richtung der Fäden, parallel der Maßstablänge bewegen zu können, ist es auf einem Schlitten montiert, der sich in einer Gleitbahn bewegt. Damit die Bewegung des Schlittens gegen die Gleitbahn messend verfolgt werden

Fig. 2.



messend verfolgt werden kann, trägt der Schlitten eine Strichmarke, auch Index genannt, welche sich vor einer auf der Gleitbahn angebrachten Teilung bewegt. Die Lage des Index zur Teilung kann in jeder Stellung des Mikroskops abgeschätzt und in Rechnung gebracht werden. Um diese Schätzung sicherer ausführen zu können, bedient man sich einer Vorrichtung, welche man Nonius nennt, dessen Einrichtung aus Fig. 2 ersichtlich ist.

AB ist ein in gleiche Teile geteilter Maßstab, dem ein zweiter CD anliegt, der ebenfalls in gleiche Teile geteilt ist, doch so, daß 10 Intervalle desselben 9 Intervallen von AB entsprechen. Da somit ein Intervall von CD gleich $\frac{9}{10}$ Intervallen von AB ist, so läßt sich, wenn der Anfangsstrich 0 von CD zwischen zwei Teilstrichen von AB liegt, aus dem Zusammenfallen je eines Striches von CD und AB ein Schluß auf die genaue Lage des Striches 0 zum gegenüberliegenden Intervall ziehen. Die Messung wird verfeinert, wenn nicht 10 und 9 Intervalle, sondern 100 Intervalle von CD 99 Intervallen von AB entsprechen. Auch ist häufig der verschiebbare Maßstab CD mit $(n - 1)$ Teilen auf

n-Teile von AB eingerichtet. Die richtige Benutzung des Nonius wird sich in jedem Falle durch eine einfache Überlegung ergeben.

§ 15. **Schraubenmikrometer.** Wesentlich vollkommener wird die vorstehend geschilderte Einrichtung, wenn man den Schlitten nicht, wie gedacht, von Hand bewegt und seine Lage in jedem Falle aus der Stellung des Nonius ableitet, sondern wenn man den Schlitten gegen seine Gleitbahn durch eine Schraubenverbindung beweglich macht. Die Schraube dient dann einerseits als bequemes Transportmittel, kann aber zugleich als Meßvorrichtung ausgebildet werden. Zu diesem Zwecke ist auf dem Schraubenkopf ein niedriger Zylinder, die Schraubentrommel, derartig aufgesetzt, daß die Zylinderachse mit der Achse der Schraube zusammenfällt. Ist die Schraubentrommel, wie das gewöhnlich geschieht, in 100 gleiche Teile geteilt, so entspricht einer Drehung der Schraube um einen Trommelteil eine Fortbewegung des Schlittens und damit des Beobachtungsmikroskops um den hundertsten Teil eines Schraubenganges. Kennt man die Ganghöhe der Schraube, so läßt sich also leicht aus den Messungen an der Trommel die Verschiebung des Beobachtungsmikroskops in jedem einzelnen Falle berechnen.

§ 16. **Okularmikrometer.** Eine noch weitere Vervollkommnung der Visiervorrichtung entsteht, wenn man die Fäden des Mikroskops (§ 13) meßbar verschiebbar macht. Man nennt eine solche Meßanordnung, welche nach Art der Fig. 3 in den Mikroskopkopf eingebaut wird, ein Okularmikrometer; es ermöglicht ein Objekt unter dem Mikroskop, also etwa die Lage von Maßstabstrichen auszumessen, ohne das Mikroskop selbst zu diesem Zwecke bewegen zu müssen.

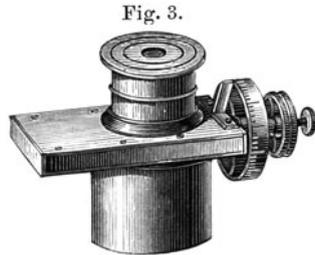


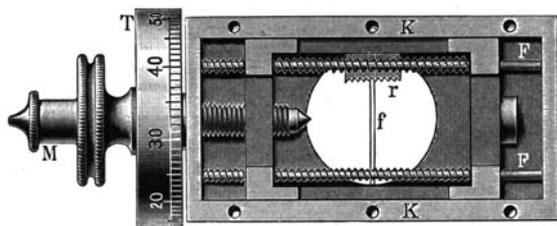
Fig. 3.

Die innere Einrichtung eines Okularmikrometers ist aus Fig. 4 zu ersehen¹⁾. In einem flachen Gehäuse K bewegt sich ein gut

¹⁾ Das skizzierte Okularmikrometer ist dasjenige von C. Bamberg in Friedenau. Näheres über Mikrometer siehe bei E. Becker, Theorie der Mikrometer und mikrometrischen Messungen am Himmel. Breslau, Trewendt (1899).

eingepaßter Schlitten. Die Bewegung wird durch eine Mikrometerschraube bewirkt, welche von außen her durch Drehen an *M* betätigt wird. Der Schlitten wird von zwei Stäben *FF* durchsetzt, welche an den inneren Wandungen des Kästchens *K* befestigt sind. Auf diese Stäbe sind Federn aufgesteckt, welche dem Zug der Mikrometerschraube entgegenwirken und den toten Gang

Fig. 4.



der Schraube (§ 28) beseitigen. Zum Zwecke der Messung ist der Rahmen mit Kokonfäden *f* überspannt, welche genau in die Bildebene des Mikroskops justiert werden müssen. Bei Betätigung der Mikrometerschraube wandern dann die Kokonfäden über das Bild und erlauben dessen Ausmessung. Die Größe der Verschiebung wird aus der Stellung der in der Regel wiederum in 100 Teile geteilten Meßtrommel *T* gegenüber einem festen Index (vgl. Fig. 3) abgeleitet. Die Anzahl der ganzen Umdrehungen der Trommel wird aus der Lage der Fäden gegen einen kleinen Rechen *r* erschlossen; einer ganzen Umdrehung der Trommel entspricht meist die Verschiebung des Fadensystems um einen Zahn des Rechens.

Das Okularmikrometer ist kein absolutes Meßinstrument, sondern wertet nur die Länge des betrachteten Objektes in Schraubenumgängen aus. Das Messungsergebnis hängt also von der im Mikroskop gewählten Vergrößerung ab. Um ein mit dem Okularmikrometer auszumessendes Intervall in metrischem Maße zu erhalten, muß man deshalb mit demselben Instrument mit gleicher Mikroskopvergrößerung ein bekanntes Intervall auswerten. Ist 1 mm gleich *a* Schraubenumdrehungen des Okularmikrometers gefunden, so ist ein Intervall, für welches sich *b* Umdrehungen ergeben hatten, gleich b/a mm. Präzisionsmaßstäbe tragen, soweit sie nicht überhaupt eine engere Teilung besitzen, zwecks

leichterer Auswertung der benutzten Okularmikrometer einige genau bekannte kleine Intervalle; so haben z. B. die nationalen Meterprototypen zu jeder Seite der beiden das Meter definierenden Striche noch je einen Strich im Abstand von nahezu 0,5 mm. Diese Halbmillimeterintervalle sind bei der Vergleichung der Gesamtlängen ebenfalls mit möglichster Genauigkeit bestimmt.

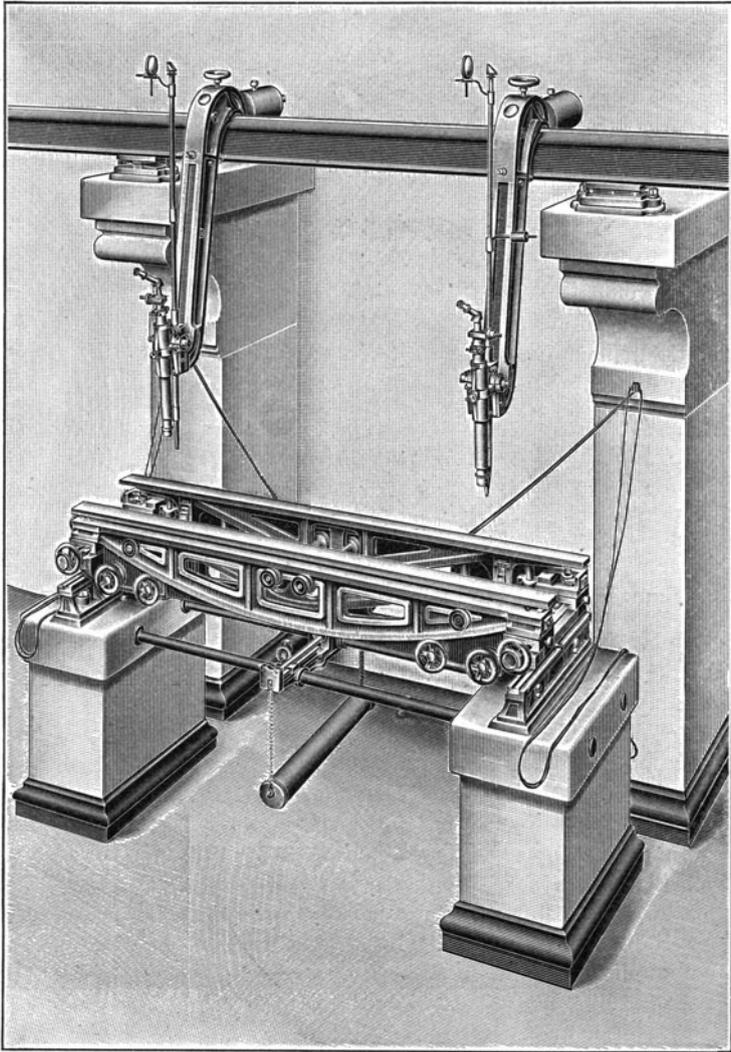
Bei Messungen höchster Präzision hat man zu berücksichtigen, daß die Schraube des Okularmikrometers mit gewissen Fehlern behaftet ist, welche bestimmt und in Rechnung gezogen werden müssen. Näheres hierüber s. in § 28.

§ 17. Komparator. Der Komparator dient dazu, Maßstäbe von nahe gleicher Länge miteinander zu vergleichen. Er wird also auch benutzt um Meterkopien an Normalmeter, in letzter Instanz an das internationale Prototyp anzuschließen, d. h. festzustellen, um welchen geringen Betrag sich die Länge der Kopie von der Länge des internationalen Prototyps unterscheidet. Die hierbei beanspruchte Genauigkeit kann eine sehr verschiedene sein.

Man unterscheidet Longitudinal- und Transversalkomparatoren. Die ersteren, welche gegenüber den letzteren einer geringeren Genauigkeit fähig sind, lassen sich mit jeder Teilmaschine improvisieren, ihr Wesen wird im § 20 näher skizziert werden.

§ 18. Transversalkomparator. Das Wesen der Transversalkomparatoren besteht darin, daß man die nahe gleiche Länge der beiden zur Untersuchung gelangenden Maßstäbe durch zwei mit Okularmikrometern ausgerüstete Mikroskope, deren Abstand während der Untersuchung nicht oder nur in meßbarer Weise verändert wird, festlegt und mit diesen, gewissermaßen wie mit einem optischen Stangenzirkel, die Länge des einen Maßstabes auf den anderen überträgt. Für diese Operation lassen sich zwei Möglichkeiten der Ausführung denken. Man kann entweder die Mikroskope auf einem beweglichen Schlitten anordnen und mit diesem abwechselnd über die Enden beider zu vergleichenden Maßstäbe bringen, welche also hierbei in Ruhe bleiben; oder aber man kann die Mikroskope in irgend einer Weise fest aufbauen und die Maßstäbe auf einem passend eingerichteten Wagen abwechselnd unter die Mikroskope fahren.

Fig. 5.



Prinzipiell scheint keine der beiden Methoden einen unbedingten Vorrang vor der anderen zu verdienen, wenn vorausgesetzt wird, daß in jedem Falle die auszuführenden Bewegungen ohne Zwang, d. h. ohne Abstandsänderung sowohl der Maßstäbe als auch der Mikroskope vor sich gehen. Doch sind fast alle Komparatoren ersten Ranges nach dem Prinzip der feststehenden Mikroskope eingerichtet, welches allein wir hier etwas näher betrachten wollen.

Dort wo es sich um die Vergleichung immer derselben Längen handelt, wie z. B. bei den Meteranschlüssen im Bureau international des Poids et Mesures hat man wohl die beiderseitigen Mikroskope des Komparators jedes auf einem besonderen Pfeiler, der unabhängig vom Gebäude fundamentiert ist, montiert. Dadurch scheint der Abstand der beiden Mikroskope auch für längere Zeit unveränderlich sichergestellt. In Wirklichkeit ist dieser Vorteil, der auch nicht einmal ganz erreicht ist, ohne praktische Bedeutung, weil die Konstanz des Abstandes beider Mikroskope nur für die Zeit der Beobachtung erwünscht ist, ja eine durch Temperatureinflüsse verursachte kleine Änderung des Abstandes durch symmetrische Anordnung der Beobachtungen (vgl. weiter unten) eliminiert werden kann.

Soll der Komparator zur Vergleichung bei verschiedenen Maßstablängen benutzt werden, so ordnet man die Mikroskope in ihrer Entfernung veränderlich und für jede Beobachtungsreihe feststellbar auf einer Verbindungsschiene an. Ein nach solchen Gesichtspunkten von A. Leman für die Zwecke der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt konstruierter Komparator ¹⁾ ist in Fig. 5 abgebildet.

Das ganze Instrument zerfällt in zwei Teile: den Oberbau, der die Mikroskope trägt, und den Unterbau, auf dem die Maßstäbe ruhen.

Der Oberbau liegt auf zwei 1,5 m voneinander entfernten, strebepfeilerartigen Anbauten an den untersten Teil der Umfassungsmauer des Gebäudes auf. Er besteht aus einer 3,5 m langen Schiene, die auf Sandsteinkapitalen der genannten Strebepfeiler mittels Kugellager etwa 1,8 m über dem Fußboden ruht,

¹⁾ Näheres über den Komparator bei A. Blaschke, Zeitschr. f. Instrumentenk. 27, 361—369 (1907).

und sich also bei etwaiger Temperaturänderung zwangsfrei umzulagern vermag. Zwei S-förmige, schräg nach vorn geneigte Arme von etwa 0,7 m Länge umfassen mit ihrer oberen Krümmung diese Schiene, auf der sie in jeder Entfernung festgestellt werden können; unten tragen sie die Mikroskope mit Okularmikrometern, von denen jedes um je ein der Schiene paralleles Kollimatorfernrohr als Achse quer zur Schienenrichtung geschwenkt werden kann; indem man die Kollimatoren aufeinander und horizontal, die Mikroskope mittels einer Libelle vertikal einjustiert, erzielt man, daß der Parallelismus der Mikroskope in der Maßstabrichtung auch gewahrt bleibt, wenn man die Mikroskope um die Kollimatoren dreht. — Zur Beleuchtung dient eine seitwärts stehende Lampe; das Licht wird mittels Sammellinsen auf die Hypotenusenflächen rechtwinkliger Prismen geworfen, so nach unten schräg durch Beleuchtungsrohre auf die Maßstäbe reflektiert und gelangt von diesen durch Spiegelung in die Mikroskope. Diese selbst lassen sich auf- und niederschieben und, parallel zur Schienenrichtung, durch Schrauben fein verstellen.

Der Unterbau des Komparators ruht auf zwei ebenfalls rund 1,5 m voneinander entfernten Pfeilern. Auf den Sandsteinbekrönungen der Pfeiler, etwa 0,6 m über dem Fußboden, befindet sich je ein Kugellager, in denen sich ein Wagen senkrecht zu der durch die Verbindungslinie der beiden Mikroskope gegebenen Richtung verschiebt. Auf dem rechten, wie auf dem linken Endstück des Wagens ruhen je zwei vollständig unabhängig voneinander durch Schrauben fein verstellbare Schlitten. Auf den beiden vorderen dieser Schlitten und auf den beiden hinteren ist je ein Tischträger, in der Längsrichtung fein justierbar, gelagert; die beiden Tische für die Maßstäbe selbst sind jeder an einem dieser Träger angebracht, sie lassen sich durch Schrauben heben und senken. Alle Lagerungen und Verstellungen sind so eingerichtet, daß eine Verkrümmung der Tische und der darauf ruhenden Maßstäbe ausgeschlossen ist. Mittels des Wagens werden die Maßstäbe, nachdem sie selbst und die Mikroskope einjustiert sind, so verschoben, daß sie nacheinander unter die Mikroskope gelangen; diese Bewegung ist durch Anschläge begrenzt und geht sehr leicht vonstatten.

Es ist vorgesehen, daß die Maßstäbe nicht direkt auf den Tischen aufliegen, sondern erst durch Vermittelung von Tempe-

raturbädern, welche gestatten, dem Maßstab eine gewollte Temperatur zu verleihen.

Es war schon im vorigen Paragraphen erwähnt, daß Präzisionsmaßstäbe zwecks leichter Auswertung der zu benutzenden Okularmikrometer einige genau bekannte kleine Intervalle tragen. Befinden sich diese, wie bei den nationalen Meterprototypen, unmittelbar neben den die Gesamtlänge definierenden Strichen, so wird man bei der Vergleichung eines Maßstabes mit diesem Normalmaßstabe auf dem Komparator es in der Regel so einrichten können, daß die beiden Endstriche des unbekanntes Maßstabes (links x , rechts y) bei Übertragung der auf sie gemachten Einstellungen durch Verschieben auf den Normalmaßstab zwischen je zwei Striche des letzteren (links zwischen a und b , rechts zwischen c und d) fallen.

Um ein Beispiel zu geben, sei angenommen, daß die Entfernung $ac = 1\text{ m} + 0,025\text{ mm}$ sei, ferner daß die Intervalle $ab = 0,997$ und $cd = 1,007\text{ mm}$ gefunden seien. Sind jetzt die Einstellungen der Okularmikrometer auf den unbekanntes Maßstab:

$$x = 4,536, \qquad y = 6,384,$$

die Einstellungen auf den Normalmaßstab:

$$a = 2,598, \quad b = 5,432, \quad c = 4,299, \quad d = 7,404,$$

so ist die Entfernung:

$$\begin{aligned} xy &= 1\text{ m} + 0,025\text{ mm} + \frac{6,384 - 4,299}{7,404 - 4,299} \cdot 1,007\text{ mm} - \frac{4,536 - 2,598}{5,432 - 2,598} \cdot 0,997\text{ mm} \\ &= 1\text{ m} + 0,025\text{ mm} + 0,676\text{ mm} - 0,682\text{ mm} \\ &= 1\text{ m} + 0,019\text{ mm}. \end{aligned}$$

Die Einstellungen auf denselben Maßstab links und rechts sollen bei Komparatormessungen gleichzeitig erfolgen, um etwa durch Erschütterungen vorkommende kleine Verlagerungen des Maßstabes unschädlich zu machen. Komparatormessungen erfordern also zwei Beobachter, die schon wegen der Verschiedenartigkeit der Strichauffassung ihre Plätze links und rechts systematisch wechseln sollten. Eine vollständige Komparatormessung soll ferner symmetrisch zur Mitte angeordnet sein; es soll also auf den vorderen (I) und hinteren (II) Maßstab etwa nach dem Schema I, II, II, I eingestellt und gleichartige Einstellungen gemittelt werden. Auch wird es häufig zweckmäßig sein, eine

besondere Reihe mit Vertauschung der Maßstäbe auf den Tischen und Vertauschen der Maßstäbe von links nach rechts vorzunehmen; hierdurch können namentlich einseitige Einflüsse der Beleuchtung eliminiert werden. Besondere Einrichtungen hierfür an Komparatoren, etwa in der Art, daß der ganze Unterbau um eine in der Mitte liegende vertikale Achse drehbar gemacht wird, führen zu Komplikationen in der Konstruktion des Komparators und gehen meist auf Kosten der Stabilität des Instrumentes.

§ 19. Kathetometer. Eine besondere, häufig gebrauchte Form des Transversalkomparators ist der Vertikalkomparator oder das Kathetometer. Hier sind die beiden zu vergleichenden Maßstäbe im allgemeinen fest angeordnet. An die Stelle des Schlittens beim horizontalen Komparator tritt hier als Träger der Mikroskope eine vertikale gut bearbeitete zylindrische Säule, an welcher die Mikroskope in passenden Fassungen gleiten und in beliebiger Höhe festgestellt werden können. Die Übertragung der durch die Okularmikrometer festgehaltenen Länge des einen Maßstabes auf den anderen geschieht durch Drehen der Säule. Säule und Maßstäbe müssen einander gut parallel sein, was man am besten dadurch erreicht, daß man alle gut vertikal richtet. Die Maßstäbe sind, wenn größte Meßgenauigkeit erfordert wird, in der Mitte der zu vergleichenden Längen durch Klauen zu fassen; auf diese Weise wird die obere Hälfte durch das eigene Gewicht des Stabes um ebensoviel verkürzt, wie sich die untere Hälfte verlängert, so daß die Gesamtlänge dieselbe bleibt. In der Regel kann man jedoch von dieser Anordnung absehen und die Maßstäbe aufhängen oder aufstützen.

§ 20. Longitudinalkomparator. Auf einer oder mehreren einander parallelen Gleitbahnen bewegt sich ein Schlitten, der in der Regel zwei Mikroskope mit Okularmikrometern trägt. Die zu vergleichenden Maßstäbe sind auf einem Tische gelagert, der parallel mit den Gleitbahnen angeordnet ist. Die Mikroskope laden etwas verschieden weit aus, derart, daß man im einen die Striche des einen, im anderen die Striche des anderen Maßstabes sieht. Die Vergleichung der Maßstäbe erfolgt in der Art, daß man zunächst links die Mikrometer auf die linken Maßstabstriche einstellt (a auf I, b auf II), dann ebenso rechts verfährt (c auf I,

d auf II). Der Längenunterschied der beiden Maßstäbe ist dann (Drehungssinn der Okularmikrometer überlegen!):

$$(c - a)x - (d - b)y,$$

wo x und y die Reduktionsfaktoren der beiden Okularmikrometer auf metrisches Maß bedeuten.

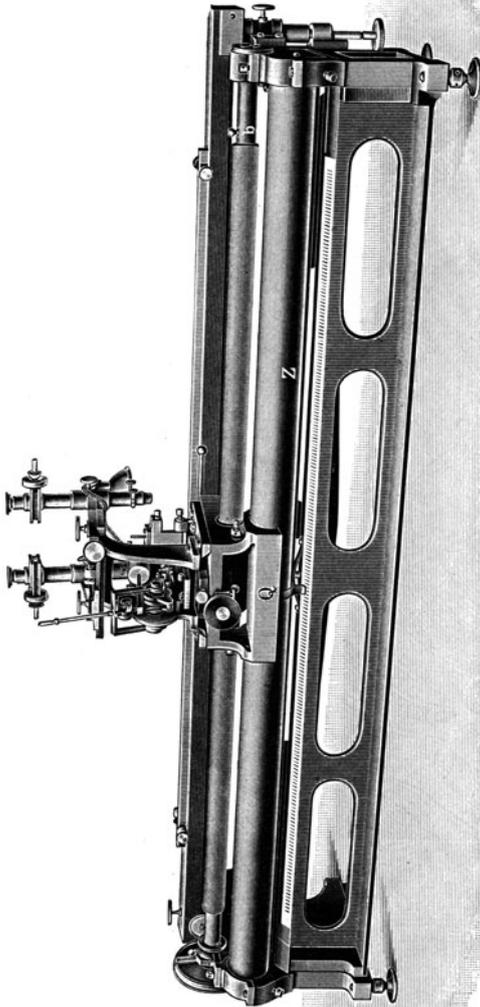
Der Verwendbarkeit des Longitudinalkomparators ist durch die Güte der Gleitbahnen, als welche in der Regel Eisenzylinder von 5 bis 10 cm Durchmesser dienen, eine Grenze gesetzt. Kleine Unebenheiten der Gleitbahnen verursachen nämlich Drehungen des Schlittens, die sich auf die die Mikroskope haltenden Arme, hebelartig vergrößert, übertragen und dadurch die Messung der Längendifferenz fälschen. Dieser störende Einfluß einer fehlerhaften Gleitbahn läßt sich bis zu einem gewissen Grade dadurch eliminieren, daß man die zu untersuchenden Längen in ihrer Lage zu den Gleitbahnen — vorne und hinten — vertauscht. Der Mittelwert aus beiden Messungsergebnissen kann dann ein richtiges Resultat geben.

Die geschilderte Fehlerquelle tritt in der Regel in um so geringerem Grade störend in die Messung ein, je kleiner die zu vergleichenden Längen sind. Bei gegebenem Instrument ist es nicht schwer, die Größe der Fehlerquelle über die ganze Gleitbahn hin zu bestimmen und damit den Verwendungsbereich des Komparators im Hinblick auf die gewünschte Meßgenauigkeit festzusetzen.

Von der geschilderten Fehlerquelle kann man frei werden, wenn es gelingt, die beiden zu vergleichenden Intervalle so nahe aneinanderzurücken, daß beide linken und beide rechten Intervallstriche je zu gleicher Zeit im Gesichtsfelde desselben Mikroskops erscheinen. Alsdann genügt ein Mikroskop zur Messung und es wird damit $x = y$.

Dieser Fall läßt sich z. B. bei der Vergleichung zweier Glasmaßstäbe häufig verwirklichen, welche man in der Art untersucht, daß man sie, die Teilungen einander zugewandt, aufeinander legt und die Striche durch die obere Glasplatte hindurch anvisiert. Man beobachtet dann im Okularmikrometer den Abstand der beiden linken Striche voneinander, ferner den Abstand der beiden rechten Striche voneinander und berechnet daraus den Intervallunterschied.

Fig. 6.



§ 21. **Schraubenteilmaschine.** Die Schraubenteilmaschine ist nur eine besondere Art des Longitudinalkomparators. Während beim Longitudinalkomparator, wie er im § 20 gedacht war, der Schlitten von Hand verschoben wird, dient hier zur Fortbewegung des Schlittens eine über die ganze Länge des Instruments reichende Schraube, wie es Fig. 6 zeigt, welche eine von der Firma Sommer u. Runge in Berlin verfertigte Maschine von 1 m Länge darstellt¹⁾. Der Schlitten *Q* gleitet auf dem Zylinder *Z*, welcher nahezu die ganze Last des Schlittens aufnimmt; ein in der Figur nicht sichtbares, auf der vom Beschauer abgewandten Seite sich bewegendes Laufrad sichert den Schlitten gegen das Umkippen.

Die Schraube *b*, welche den Schlitten führt, dient nicht nur als Transportschraube, sondern gestattet auch an Stelle der in den Mikroskopen befindlichen Okularmikrometer die Messungen auszuführen. Zu diesem Zwecke ist sie mit einer in 100 Teile geteilten Trommel (links in der Figur) versehen; jeder Teil entspricht, da die Ganghöhe der Schraube 1 mm beträgt, 0,01 mm.

§ 22. **Herstellung von Teilungen.** Zur Herstellung von Teilungen dient eine Reißerwerk genannte Vorrichtung, welche auf dem Schlitten des Longitudinalkomparators montiert werden kann (s. Fig. 6). Der Hauptbestandteil des Reißerwerks²⁾ ist der Stichel, ein passend zugespitztes Stahlstäbchen, welches durch den Mechanismus des Reißerwerks über die zu teilende Fläche geführt, dann abgehoben, ohne Berührung mit der Fläche zurückgeführt und wieder gesenkt wird, um von neuem zum Angriff über die Fläche gezogen zu werden. Die Einstellung des Reißerwerks für jeden einzelnen Strich geschieht bei dem im § 20 skizzierten Longitudinalkomparator derart, daß man durch ein gleichzeitig auf dem Schlitten des Komparators befindliches Mikroskop die Striche einer Mutterteilung anvisiert und den Schlitten auf diese Striche einstellt; mit dem gewöhnlichen Longitudinalkomparator läßt sich also nur die Kopierung einer schon vorhandenen Teilung vornehmen. — Die Schraubenteilmaschine erlaubt die selbständige Herstellung von Teilungen, indem man den Schlitten mit Hilfe der Schraube jedesmal um bestimmte Beträge

¹⁾ Karl Scheel, Zeitschr. f. Instrumentenk. 16, 321—329 (1896).

²⁾ Über die sonstige Einrichtung eines Reißerwerks vgl. Zeitschr. f. Instrumentenk. 16, 323 ff. (1896).

weiterschiebt. Fehler der Schraube (vgl. § 28) sind dabei mit umgekehrtem Vorzeichen zu berücksichtigen.

Eine Teilung soll so beschaffen sein, daß bei der zur Beobachtung angewendeten Vergrößerung — eine mehr als 20fache Vergrößerung wird man bei der Untersuchung von Maßstäben in der Regel nicht benutzen — die Striche symmetrisch zur tiefsten Furche erscheinen und die Ränder glatt verlaufen. Nur so ist es möglich, daß verschiedene Beobachter das Bild des Striches in einigermaßen gleicher Weise auffassen. Ein etwa durch das Teilen selbst entstandener Grat muß durch sorgfältiges Abschleifen entfernt werden. Eine Teilung wird vielfach noch mit einem oder mehreren Querstrichen versehen, welche die Striche der Teilung senkrecht durchschneiden. Bei der späteren Messung werden die Teilstriche dann stets in der Nähe der Schnittpunkte pointiert.

Als Träger der Teilung dienen fast ausschließlich Metalle oder Glas. Auf Metalle wird, nachdem sie vorher poliert sind, die Teilung durch das Reißerwerk meist direkt eingeschnitten; Glas wird zuvor mit Wachs überzogen, am besten durch Eintauchen in das geschmolzene, weniger zähe weiße Wachs und nachheriges Abtropfenlassen; das Reißerwerk entfernt dann an den Stellen der kommenden Striche den Wachsgrund und bereitet der Ätzung durch Flußsäure den Boden. Sehr feine Teilungen auf Glas werden mit Hilfe des Diamanten hergestellt.

In jedem Falle empfiehlt es sich, die endgültige Teilung erst nach Versuchen an Probestücken vorzunehmen. Eine zweckentsprechende Teilung erfordert zu ihrer Herstellung viel Übung und Erfahrung, die zu lehren nicht die Aufgabe dieser kurzen Ausführungen sein kann.

§ 23. Untersuchung von Teilungen. Eine Teilung wird infolge der Unvollkommenheit aller benutzten Hilfsmittel in der Regel nicht fehlerfrei herzustellen sein. Um die Teilungen für weitere Messungen benutzbar zu machen ist es darum nötig, zuvor ihre Fehler zu ermitteln.

Die Fehler einer Teilung sind von zweierlei Art. Die Aufgabe der Bestimmung der ersten Art Fehler, des Gesamtfehlers, ist durch das Vorige bereits im wesentlichen erledigt. Es handelt sich dabei um die Ermittlung des Unterschiedes der ganzen

Länge der Teilung der Skale gegen ihren Sollwert; das bedeutet aber nichts anderes als die Vergleichung der Gesamtlänge der Teilung mit einem schon bekannten Maßstab, was, wie früher erörtert, mit Hilfe des Komparators geschieht. Der Einfluß des Gesamtfehlers einer Teilung auf die einzelnen Intervalle ist ohne weiteres klar. Besteht die Teilung etwa aus 10 nahe gleichen Intervallen und ist die Gesamtlänge der Teilung um a mm fehlerhaft gefunden, so resultiert hieraus für jedes einzelne Intervall ein Fehler von $\frac{1}{10} a$ mm; die Länge von n Intervallen ist also um $\frac{n}{10} a$ mm fehlerhaft. Hieraus ergibt sich die Regel, daß der Fehler der ganzen Teilung auf die einzelnen Intervalle proportional ihrer Länge zu verteilen ist.

Die zweite Art der Fehler einer Teilung bilden die inneren Teilungsfehler. Denken wir uns eine Teilung etwa nur aus drei Strichen oder zwei Intervallen bestehend, so kann die Gesamtlänge, d. h. die Entfernung der beiden äußeren Striche voneinander, sehr wohl eine gewollte Länge, etwa 2 mm, fehlerfrei darstellen. Liegt dann der Zwischenstrich nicht genau in der Mitte zwischen den beiden äußeren, so sind trotzdem beide Intervalle mit Fehlern behaftet, die im gewählten Beispiel einander numerisch gleich, aber von entgegengesetztem Vorzeichen sind. Ähnliches gilt für Teilungen, die aus mehr als zwei Intervallen bestehen. Die algebraische Summe aller Intervallfehler ergibt den Gesamtfehler der Skale, oder im Falle einer fehlerfreien Gesamtlänge den Wert Null.

Da der Gesamtfehler einer Teilung nach vorstehendem jederzeit leicht in Rechnung gezogen werden kann, so verfährt man bei der Bestimmung der inneren Teilungsfehler in der Regel so, daß man die Gesamtlänge zunächst als richtig annimmt, was die Ausrechnung der Beobachtung meist vereinfacht. In diesem Sinne braucht die Gesamtlänge nicht immer gerade der Abstand der beiden Endstriche der Teilung voneinander zu sein. Beispielsweise kann es bei der Untersuchung einer aus 12 Intervallen bestehenden Teilung wegen des Anschlusses an eine bekannte Teilung häufig zweckmäßiger sein, den Abstand des zweiten vom 12. Striche, also 10 Intervalle als Gesamtlänge zu definieren.

Insbesondere wird man in solcher Weise verfahren, wenn man eine sehr lange Teilung zu untersuchen hat. Würde es sich beispielsweise um die Bestimmung der inneren Teilungsfehler

eines in einzelne Millimeter geteilten Meterstabes handeln, so würden sich beim Angriff der Aufgabe als Ganzes teils die Untersuchungsfehler ungeheuer häufen und man würde zu unsicheren Resultaten geführt, teils würde — etwa nach der Methode des Durchschiebens, § 27 — die Zahl der Beobachtungen ins Ungemessene wachsen; die auf die Untersuchung der Teilung verwendete Mühe stünde alsdann in gar keinem Verhältnis zur erreichbaren Genauigkeit.

Man hilft sich im vorliegenden Falle etwa in der Art, daß man die Aufgabe zunächst auf die Bestimmung der Dezimeterintervalle beschränkt. Jedes Dezimeter betrachtet man alsdann als eine Teilung für sich, deren Gesamtlänge man wieder als fehlerfrei annimmt, und für welche man die Zentimeterintervalle ermittelt. Von den Zentimetern steigt man schließlich in gleicher Weise zu den Millimeterintervallen hinab. Die inneren Teilungsfehler des gesamten Maßstabes erhält man endlich, indem man in leicht ersichtlicher Weise Schritt für Schritt die Fiktion der Fehlerfreiheit der Gesamtintervalle fallen läßt, und diese Fehler selbst in die Rechnung einführt.

§ 24. Fehler und Korrektion. Es ist bisher immer nur von Fehlern schlechtweg die Rede gewesen, ein Begriff, der in der Metronomie zeitweise recht arge Verwirrungen hervorgerufen hat. Ein Fehler ist nämlich notwendigerweise mit einem Vorzeichen behaftet. Ist beispielsweise ein Maßstab zu kurz, hat er also, wie man sagt, die Gleichung

$$A = 1 m - a,$$

so ist $+a$ der Fehler des Maßstabes, denn dieser Betrag fehlt dem Maßstab an seiner Soll-Länge. Benutzt man jetzt diesen Maßstab als Etalon bei der Vergleichung mit einem noch unbekanntem Maßstab, so findet man, da man eine zu kleine Maßeinheit zugrunde legt, für den neuen Maßstab einen zu großen Wert, man muß also von dem Messungsergebnis etwas abziehen und zwar, wie man leicht sieht, eben jenen Fehler $+a$, oder man muß den Fehler mit umgekehrtem Vorzeichen, d. h. $-a$ addieren. Dieser Vorzeichenwechsel des Fehlers hat sehr oft zu falschen Überlegungen geführt.

Man hat sich deshalb daran gewöhnt, den Begriff des Fehlers ganz zu beseitigen, indem man statt dessen den Begriff der Kor-

rektion gebraucht. Korrektur wird ganz allgemein als der Wert definiert, welchen man algebraisch zu dem Nominalwert addieren muß, um den wahren Wert zu erhalten. In diesem Sinne ist also gemäß der obigen Gleichung des Stabes $A - a$ die Korrektur dieses Stabes, denn man muß $-a$ zu dem Nominalwert des Stabes 1 m addieren, um den wahren Wert A zu erhalten. Korrektur und Fehler unterscheiden sich also um den Faktor -1 .

Bei der Korrektur ist jetzt der vorher beim Gebrauch des Fehlers gerügte Vorzeichenwechsel vermieden. Denn vergleicht man jetzt einen unbekanntem Maßstab B mit A und findet

$$B = A + b,$$

so ergibt die Addition beider Gleichungen

$$B = 1\text{ m} + b - a,$$

d. h. zu dem Messungsergebnis $+b$ ist jetzt die Korrektur $-a$ mit ihrem richtigen Vorzeichen zu addieren.

In dem eben besprochenen Falle der einfachen Vergleichung zweier Maßstäbe mag die strenge Fixierung der Begriffe Fehler und Korrektur überflüssig erscheinen, da bei sorgfältiger Überlegung sich Irrtümer wohl vermeiden lassen. Nicht ganz so einfach liegen die Verhältnisse indessen bei der Untersuchung ganzer Teilungen. Hier muß man sich vor Augen halten, daß falsche Intervalle erst an zweiter Stelle stehen. Das Primäre sind fehlerhaft gezogene Striche; man ist also genötigt, die Begriffe Fehler und Korrektur auch auf die Lage der Striche zu übertragen.

Auch hier bezeichnet man als die Korrektur eines Striches diejenige Größe, welche man zu der Benennung des Striches algebraisch addieren muß, um seine wahre Lage zu erhalten. Hat beispielsweise der a te Strich die Korrektur $+\alpha$, so heißt das nichts anderes als: zu der Lesung a ist $+\alpha$ zu addieren, um die wahre Lage des Striches a zu erhalten, d. h. dort, wo auf der Skala die Bezeichnung a steht, müßte eigentlich geschrieben sein $a + \alpha$. Bezeichnet $+\beta$ in derselben Weise die Korrektur eines Striches b , so müßte also auf der Skala dort, wo b steht, eigentlich $b + \beta$ stehen; das Intervall von a bis b hat also, wenn $b > a$, d. h. die Teilung von a nach b fortschreitet, den Wert $(b - a) + (\beta - \alpha)$, es ist also $+(\beta - \alpha)$ die Korrektur des Intervalls $(b - a)$.

Die Korrektion eines Intervalls ist also gleich der Differenz der Korrektionen der das Intervall begrenzenden Striche und zwar in dem Sinne oben — unten, wenn man sich die Teilung von unten nach oben fortschreitend denkt. Kehrt man die Teilung um, so daß unten und oben vertauscht sind, so wird ein Strich, der vorher zu tief lag, jetzt relativ zu hoch liegen. Bei Umkehrung der Skale kehren also alle vorher irgendwie bestimmten Korrektionen der Striche ihr Vorzeichen um. Da sich aber auch gleichzeitig der Subtraktionssinn umkehrt, bleiben die Korrektionen der einzelnen Intervalle dieselben.

Zwei Striche, die ein fehlerfreies Intervall begrenzen, haben, auch dem Vorzeichen nach, gleiche Korrektionen; im Spezialfalle können beide Korrektionen Null sein.

§ 25. Bestimmung der inneren Teilungsfehler nach der Methode von Hansen. Die Hansensche Methode in ihrer einfachsten Anordnung benutzt ein Hilfsintervall, welches den zu untersuchenden Intervallen nahe gleich ist und mit dem die Skalenintervalle einzeln nacheinander, im Hin- und Rückweg, d. h. symmetrisch zur Mitte angeordnet, verglichen werden. Zur Vergleichung dient der Longitudinalkomparator; bequem kann es auch sein, das Hilfsintervall durch eine bestimmte Anzahl von Schraubenumgängen des Okularmikrometers zu bilden, wobei man dann aber darauf zu achten hat, daß die Messungen immer mit derselben Stelle der Schraube und zwecks Vermeidung der periodischen Schraubenfehler (vgl. § 30) in denselben Trommelstellungen vorgenommen werden. Bezeichnet man die Größe des zunächst noch unbekanntes Hilfsintervalls mit M , so findet man auf diese Weise beispielsweise auf einer in fünf Intervalle (die Intervalle sind im folgenden stets durch eckige Klammern bezeichnet) geteilten Skale die Gleichungen

$$\begin{aligned} [0 \sim 1] &= M + \alpha_1, \\ [1 \sim 2] &= M + \alpha_2, \\ [2 \sim 3] &= M + \alpha_3, \\ [3 \sim 4] &= M + \alpha_4, \\ [4 \sim 5] &= M + \alpha_5, \end{aligned}$$

wobei die α zunächst in Trommelteilen des Okularmikrometers ausgedrückt sein mögen, die später leicht in metrisches Maß umgerechnet werden können.

Bezeichnet man die Gesamtlänge der Skale mit L , so erhält man durch Addition obiger fünf Gleichungen

$$L = 5M + \Sigma \alpha,$$

woraus sich $M = \frac{1}{5}(L - \Sigma \alpha)$ ergibt. Durch Einsetzen des Wertes von M findet man dann die Werte der einzelnen Intervalle, z. B.

$$[0 \sim 1] = \frac{1}{5}L + \alpha_1 - \frac{1}{3}\Sigma \alpha.$$

Nimmt man die Gesamtlänge der Skale als richtig an, so ist $\frac{1}{5}L$ der Sollwert eines Intervalles und somit $\alpha_1 - \frac{1}{3}\Sigma \alpha$ die Korrektur des Intervalls $[0 \sim 1]$; setzt man ferner die Korrektur des Striches 0 $c_0 = 0$, so wird $c_1 = \alpha_1 - \frac{1}{3}\Sigma \alpha$. In derselben Weise kann man die übrigen Intervalle behandeln, und es ergibt sich leicht, daß die Korrekturen der folgenden Striche durch die sukzessiven Summen der Intervallkorrekturen gebildet werden, also

$$\begin{aligned} c_0 &= 0, \\ c_1 &= \alpha_1 - \frac{1}{3}\Sigma \alpha, \\ c_2 &= \alpha_1 + \alpha_2 - \frac{2}{3}\Sigma \alpha, \\ c_3 &= \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - \frac{3}{3}\Sigma \alpha, \\ c_4 &= \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 - \frac{4}{3}\Sigma \alpha, \\ c_5 &= \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - \frac{5}{3}\Sigma \alpha = 0. \end{aligned}$$

Die Methode leidet an dem Übelstand, daß die Genauigkeit, mit welcher die Korrekturen an den einzelnen Stellen bestimmt werden, nicht gleich ist, sondern von beiden Seiten symmetrisch zur Mitte abnimmt. — Bei einer Skale von 10 Intervallen sind die Endintervalle im Verhältnis 5 : 3; bei einer Skale von 100 Intervallen ebenso im Verhältnis 5 : 1 sicherer bestimmt, als die Mittelintervalle.

§ 26. Erweiterte Hansensche Methode. Wesentlich günstiger gestaltet sich die Verteilung der Beobachtungsfehler über eine Skale hin nach der erweiterten Hansenschen Methode. Die Methode besteht darin, daß man nicht nur die im § 25 angegebenen Beobachtungen mit einem Hilfsintervall vornimmt, welches einem Skalenintervall nahezu gleich ist, sondern auch Hilfsintervalle vom 2-, 3-, 4fachen usw. eines Skalenintervalls zur Vergleichung verwendet dergestalt, daß man die Hilfsskale jedesmal zuerst so legt, daß ihr linker Strich mit dem linken End-

strich der Hauptskala zusammenfällt, und nach Beobachtung stets um ein Intervall der Hauptskala verschiebt, bis bei der Schlußbeobachtung der rechte Strich der Hilfsskala mit dem rechten Endstrich der Hauptskala zusammenfällt. Umfaßt die Hauptskala n Intervalle, so sind also mit dem einfachen Intervall n , mit dem doppelten $n - 1$ usw. mit dem $(n - 1)$ fachen Intervall $[n - (n - 2)] = 2$ Intervallvergleichen vorzunehmen.

Man hat in diesem Falle n unbekannte Intervalle der Hauptskala und $(n - 1)$ unbekannte Hilfsintervalle, im ganzen also $(2n - 1)$ zu bestimmende Größen, denen

$$n + (n - 1) + (n - 2) + \dots + [n - (n - 2)] = \frac{(n + 2)(n - 1)}{2}$$

Intervallmessungen gegenüberstehen. Die Gleichungen sind nach der Methode der kleinsten Quadrate auszugleichen.

Nicht ganz so streng wie nach der Methode der kleinsten Quadrate, aber wesentlich einfacher, würde man die Gleichungssysteme auf folgende Weise auswerten. Man bildet immer nur die Differenzen zweier aufeinander folgender Intervallmessungen, derart, daß man z. B. bei den Messungen mit der 1-Intervall-Hilfsskala die Differenzen zwischen dem ersten und zweiten, dem zweiten und dritten, dem dritten und vierten usw. Intervall der Hauptskala erhält, wobei die Längen des Hilfsintervalls herausfallen. In derselben Weise erhält man mit der 2-Intervall-Hilfsskala die Differenzen zwischen dem ersten und dritten, dem zweiten und vierten usw. Intervall der Hilfsskala. Insgesamt ergibt sich jedes Intervall der Hauptskala ausgedrückt durch jedes andere.

Als Beispiel möge die Ausmessung einer aus fünf Intervallen bestehenden Skale mitgeteilt werden. Bezeichnen a, b, c, d Hilfsintervalle, welche nahezu gleich dem Einfachen bis Vierfachen eines Intervalls der Hauptskala sind, so ergab sich in $\mu = 0,001$ mm:

$$\begin{array}{l|l|l|l} [0 \sim 1] = a + 10 & [0 \sim 2] = b + 6 & [0 \sim 3] = c + 19 & [0 \sim 4] = d + 3 \\ [1 \sim 2] = a - 10 & [1 \sim 3] = b - 19 & [1 \sim 4] = c - 2 & [1 \sim 5] = d + 1 \\ [2 \sim 3] = a - 13 & [2 \sim 4] = b - 16 & [2 \sim 5] = c + 20 & \\ [3 \sim 4] = a - 5 & [3 \sim 5] = b - 3 & & \\ [4 \sim 5] = a + 4 & & & \end{array}$$

Die hieraus gebildeten sukzessiven Differenzen mögen in ein Schema eingetragen werden, welches besagt, daß das am Kopfe einer vertikalen Reihe stehende Intervall gleich dem am Kopfe

einer horizontalen Reihe stehenden Intervall plus der Anzahl μ ist, die im Schnittfelde der vertikalen und horizontalen Reihe steht, also z. B. $[2 \sim 3] = [1 \sim 2] - 3\mu$.

Einheit: $\mu = 0,001 \text{ mm}$.

	[0 ~ 1]	[1 ~ 2]	[2 ~ 3]	[3 ~ 4]	[4 ~ 5]
[0 ~ 1]	± 0	- 20	- 25	- 21	- 2
[1 ~ 2]	+ 20	± 0	- 3	+ 3	+ 22
[2 ~ 3]	+ 25	+ 3	± 0	+ 8	+ 13
[3 ~ 4]	+ 21	- 3	- 8	± 0	+ 9
[4 ~ 5]	+ 2	- 22	- 13	- 9	± 0
Σ	+ 68	- 42	- 49	- 19	+ 42
$\frac{1}{5}\Sigma$	+ 14	- 8	- 10	- 4	+ 8
Strichkorrekturen	0	+ 14	+ 6	- 8	0
Am Strich	0	1	2	3	5

Jede Beobachtungsreihe mit einem Intervall ergibt in obigem Schema eine von links nach rechts schräg abwärtsführende Reihe; das Schema wird zum Quadrat dadurch vervollständigt, daß man die Zahlen symmetrisch zur Diagonale mit umgekehrten Vorzeichen wiederholt und daß man die Diagonale zufolge der Überlegung ausfüllt, daß jedes Intervall sich selbst gleich ist.

Die weitere Rechnung ist nun sehr einfach. Indem man die Zahlen jeder Vertikalspalte addiert und durch die Anzahl der Intervalle (im Beispiel 5) dividiert, erhält man die Korrekturen der einzelnen Intervalle, die sukzessive zu Null addiert die Korrekturen der einzelnen Striche ergeben.

Die erweiterte Hansensche Methode mag in der Metronomie nur noch in beschränktem Umfange verwendet werden. Es ist aber interessant, darauf hinzuweisen, daß die Methode auf ein ganz anderes Gebiet, nämlich auf die Bestimmung der Kaliberfehler von Thermometern übertragen ist. Das Kaliber vertritt hier die Stelle der zu untersuchenden Skale, indem die metronomisch als fehlerfrei vorausgesetzte Teilung hinsichtlich des Kalibers als mit Fehlern behaftet vorausgesetzt wird, die zu bestimmen sind. Die Teilung ist die Hilfsskale; ihre Verschiebung, die nach der Hansenschen Methode nötig würde, wird dadurch

unnötig gemacht, daß verschiedene nominell gleich lange Teile der Skale innerhalb der Beobachtungsfehler auch in Wirklichkeit einander gleich sind¹⁾.

§ 27. Methode des Durchschiebens. (Thiesen, Leman.)

Die Methode des Durchschiebens erfordert zwei gleichartige Teilungen, welche indessen nicht gleich lang zu sein brauchen. Die Beobachtungen werden auf dem Longitudinalkomparator ausgeführt und ergeben gleichzeitig die Teilungsfehler beider Skalen. Ist eine der beiden Teilungen auf Glas ausgeführt, so legt man dieselbe zweckmäßig auf die andere derart, daß beide Teilungen einander zugewandt sind, also nahezu in derselben Ebene liegen. In diesem Falle genügt für die Beobachtungen ein Okulärmikrometer (vgl. auch § 20, Schluß).

Man beginnt die Beobachtungen, nachdem man die obere Teilung so auf die untere gelegt hat, daß sich nur ein Intervall überdeckt, etwa so, daß das äußerste rechte Intervall der oberen Teilung auf dem äußersten linken Intervall der unteren Teilung liegt. Mit Hilfe des Okulärmikrometers werden jetzt die kleinen Lagendifferenzen der sich überdeckenden Strichpaare gemessen — eine genaue Überdeckung darf aus diesem Grunde nicht statt haben — und hieraus die Größendifferenz beider Intervalle berechnet. Nun schiebt man die Intervalle um ein Teilintervall weiter übereinander, so daß sich je zwei Intervalle decken, mißt die Differenzen der sich nahe deckenden Striche durch und berechnet die Intervallunterschiede wie vorher. In dieser Weise fährt man fort, bis sich die Teilungen symmetrisch — bei gleich langen Teilungen vollständig — decken und bis weiter die obere Teilung über die untere nach der anderen Seite, nach rechts, hinauswandert. Die letzte Intervallverglei chung findet also in der Lage statt, daß das äußerste linke Intervall der oberen Teilung das äußerste rechte der unteren Teilung deckt. In ihrer Gesamtheit geben dann die Beobachtungen eine Vergleichung aller Intervalle der einen Teilung mit allen Intervallen der anderen Teilung.

Die Resultate werden dann, ähnlich wie bei der erweiterten Hansenschen Methode (§ 26), tabellarisch dargestellt, wie es das

¹⁾ Über Kalibrierungen von Thermometern vgl. Max Thiesen, Carls Rep. 15, 285 u. 678 (1879); s. a. Ch. Éd. Guillaume, *Traité de pratique de la thermométrie de précision*. Paris, Gauthier-Villars (1889).

Einheit: 0,001 mm.

Teilung II	Teilung I										Σ	$\frac{1}{9} \Sigma$	$c_{II} =$	
	[0~1]	[1~2]	[2~3]	[3~4]	[4~5]	[5~6]	[6~7]	[7~8]	[8~9]	$-c_{II} =$			$c_{II} =$	
[0~1]	+38	+52	+34	+24	+37	0	+50	+44	+40	+319	+35,5	0,0	0,0	
[1~2]	+19	+17	-9	-2	-1	-39	+13	-19	+3	-18	-2,0	+35,5	-35,5	
[2~3]	-3	-21	-23	-34	-27	-51	-17	-31	-17	-224	-24,9	+33,5	-33,5	
[3~4]	+41	+50	+41	+30	+48	+14	+45	+30	+43	+342	+38,0	+8,6	-8,6	
[4~5]	-3	-1	-11	-11	-18	-46	-3	-20	-2	-115	-12,8	+46,6	-46,6	
[5~6]	+3	+17	+2	-2	+7	-18	+16	-11	+14	+28	+3,1	+33,8	-33,8	
[6~7]	-5	+22	-1	-1	+2	-40	+6	-10	+2	-25	-2,8	+36,9	-36,9	
[7~8]	-2	+16	+3	-3	-8	-37	+4	-5	+4	-28	-3,1	+34,1	-34,1	
[8~9]	-11	+2	-6	-29	-6	-42	-10	-12	-11	-125	-13,9	+31,0	-31,0	
Σ	+77	+154	+30	-28	+34	-259	+104	-34	+76	-	-	-	-	
$\frac{1}{9} \Sigma$	+8,6	+17,1	+3,3	-3,1	+3,8	-28,8	+11,6	-3,8	+8,4	-	-	-	-	
$c_I = 0$	+8,6	+25,7	+29,0	+25,9	+29,7	+0,9	+12,5	+8,7	+17,1	-	-	-	-	

vorstehende Beispiel zeigt, welches zwei aus je neun Intervallen bestehende Teilungen behandelt. Die Eingänge der vertikalen und horizontalen Spalten bedeuten hier aber nicht mehr die Intervalle derselben, sondern die Köpfe der vertikalen Spalten die der einen Teilung (I), die Köpfe der horizontalen Spalten die der anderen Teilung (II). Infolgedessen wiederholen sich auch nicht mehr die Zahlen symmetrisch zur Diagonale mit umgekehrtem Vorzeichen, sondern alle Zahlen stellen voneinander unabhängige Beobachtungsergebnisse dar.

Rechnet man in derselben Weise wie im § 26, so geben die Zahlen der letzten Horizontalreihe auch hier die Korrekturen c_I der einzelnen Striche der Teilung I. Die Tabelle gibt aber noch mehr. Addiert man auch die horizontalen Reihen, dividiert durch die Anzahl der Intervalle (im Beispiel 9) und bildet die sukzessiven Summen, so erhält man die negativen Korrekturen c_{II} der Striche der Teilung II, wobei, wie eine einfache Überlegung lehrt, das negative Vorzeichen von der Art der Anordnung der Tabelle herrührt.

Die Rechnung liefert im allgemeinen für die Endstriche 9 der Teilungen nicht die Korrekturen Null. Die Größe dieser Korrekturen könnte den Gesamtlängenunterschied beider Teilungen (im vorliegenden Falle $I - II = + 17,1 + 17,1 = + 34,2 \mu$) anzeigen, wenn man nicht annehmen müßte, daß er infolge seiner nicht einfachen Bestimmung mit unberechenbaren Fehlern behaftet wäre. Man wird es daher vorziehen, die Gesamtlängen gesondert zu ermitteln. Bezogen auf richtige Gesamtlängen finden sich aus obigen Zahlen nach proportionaler Verteilung von $+ 17,1$ bzw. $- 17,1$ die Korrekturen in $\mu = 0,001$ mm:

Strich	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Teilung I	0,0	+ 6,7	+ 21,9	+ 23,3	+ 18,3	+ 20,2	- 10,5	- 0,8	- 6,5	0,0
„ II	0,0	- 33,6	- 29,7	- 2,9	- 39,0	- 24,3	- 25,5	- 20,8	- 15,8	0,0

Es sei noch darauf hingewiesen, daß das obige Beispiel für die Anordnung der Tabelle ein Quadrat ergibt, weil beide Teilungen gleichviel, nämlich neun Intervalle umfassen. Enthalten die beiden Teilungen verschieden viele Intervalle, so geht das Quadrat in ein Rechteck über; die Betrachtungen bleiben aber deswegen ungeändert.

§ 28. Fehler von Schrauben. Jede Meßschraube ist eine Art Maßstab, eine Teilung. An die Stelle der Striche einer wirklichen Teilung treten hier die Positionen der Visiereinrichtung bzw. des Fadenpaares, die durch die Ablesungen an der Schraubentrommel bestimmt sind. Dreht man die Schraube genau um eine Umdrehung, also um 360° , so rückt auch die Visiereinrichtung oder das Fadenpaar um einen bestimmten Betrag weiter. Könnte man voraussetzen, daß die Schraube fehlerfrei geschnitten ist, so müßte bei Drehung der Schraube um 360° das Fadenpaar jedesmal um den gleichen Betrag fortschreiten, welche Stelle der Schraube auch benutzt wird. Das ist nun in der Regel durchaus nicht der Fall; die Ganghöhe der Schraube ändert sich meist — mehr oder weniger — von Gang zu Gang und benutzt man die Schraube über mehrere Schraubengänge, so treten Fehler in die Messungen ein, die man nur eliminieren kann, wenn man die Ganghöhe der Schraube an verschiedenen Stellen oder, wie man auch sagt, den fortschreitenden Fehler der Schraube bestimmt hat. Die fortschreitenden Schraubenfehler entsprechen also den inneren Teilungsfehlern eines Maßstabes, sie unterscheiden sich aber von ihnen dadurch, daß diese regellos verlaufen, während sich die fortschreitenden Fehler einer Schraube von Umdrehung zu Umdrehung kontinuierlich ändern; ihr Verlauf wird sich also im allgemeinen durch eine Kurve darstellen lassen.

Aber auch innerhalb einer und derselben Umdrehung ist die durch die Schraube geleistete Verschiebung meist nicht genau der Größe des Drehungswinkels proportional. Es rührt das daher, daß die abgewickelte Schraubenlinie in der Regel keine vollkommene gerade Linie ist. Mit Berücksichtigung der mechanischen Herstellungsart der Schrauben kann man sich aber leicht vorstellen, daß Schraubenfehler dieser Art gleichfalls nicht regellos verlaufen. Die Erfahrung hat gelehrt, daß sich die gleichen Abweichungen bei den nächsten Schraubenumdrehungen nahezu in derselben Weise wiederholen und als periodische Funktionen des Drehungswinkels darstellbar sind; man nennt darum diese Art Fehler periodische Schraubenfehler.

Als dritte Art der bei Meßschrauben auftretenden Fehler möge noch der sogenannte tote Gang der Schraube genannt werden. Der tote Gang ist nicht eigentlich ein Fehler der Schraube, sondern er wird dadurch verursacht, daß aus rein

mechanischen Gründen Schraube und Mutter nicht scharf aufeinandergepaßt sein dürfen, sondern ein wenig Luft gegeneinander haben müssen. Daher kommt es, daß beim Rückwärtsdrehen einer Schraube die Mutter nicht sofort mitgezogen wird, sondern die Schraube zunächst um einen gewissen Winkel leer gedreht werden muß, ehe sie die Mutter wieder angreift. Der tote Gang ist weder von Schraube zu Schraube, noch für dieselbe Schraube zu verschiedenen Zeiten eine konstante Größe; es empfiehlt sich also nicht, ihn bei den Messungen als Korrektion anzubringen. Man kann ihn aber auch vollständig eliminieren, wenn man sich daran gewöhnt, bei jeder Einstellung der Schraube zu einer Messung, die Schraube im selben Sinne, etwa stets im Sinne der wachsenden Bezifferung zu drehen. — Bei den Schrauben der Okularmikrometer wird die Mutter durch Federkraft stets in derselben Weise gegen die Schraube gedrückt (vgl. § 16); bei diesen Schrauben ist infolgedessen ein merklicher toter Gang überhaupt nicht vorhanden.

§ 29. Fortschreitende Schraubenfehler. Die fortschreitenden Schraubenfehler werden wie die inneren Teilungsfehler bestimmt und zwar, indem man entweder eine bekannte Teilung mit der Schraube ausmißt, oder indem man wie bei der Hansenschen Methode die verschiedenen Schraubenintervalle auf ein und dasselbe Linearintervall oder auch mehrere solche Intervalle bezieht, oder endlich nach der Methode des Durchschiebens. Dabei muß man sich aber von den periodischen Fehlern unabhängig machen, indem man die Schraube in Intervalle einteilt, deren Endmarken gleiche oder nahe gleiche periodische Fehler haben. Das ist aber nach § 28 für alle Marken der Fall, die um 360° voneinander abstehen. Kennt man die periodischen Fehler einer Schraube noch nicht, so wird es also zweckmäßig sein, diesen letzten Spezialfall zu realisieren und für die Bestimmung der periodischen Fehler eine Umdrehung der Schraube oder ein Vielfaches davon als Einheitsintervall zu wählen.

§ 30. Periodische Schraubenfehler. Auch die periodischen Fehler einer Schraube lassen sich wie die inneren Teilungsfehler einer Skale ermitteln. Man verfährt wie bei der Bestimmung der fortschreitenden Schraubenfehler (§ 29); nur daß man das, was man dort gerade vermied, hier absichtlich herbei-

führt. Während man dort als Einheitsintervall ein solches (z. B. die Höhe eines Schraubenganges, eine Umdrehung) wählte, dessen Endmarken gleiche periodische Fehler hatten, wird das Einheitsintervall hier von Marken mit verschiedenen periodischen Fehlern begrenzt. Beispielsweise wählt man als Einheitsintervall $\frac{1}{10}$ Schraubenumdrehung, so daß auf die Höhe eines Schraubenganges zehn Intervalle entfallen. Vergleicht man diese Intervalle etwa nach der Methode des Durchschiebens mit zehn nahezu gleich großen Intervallen einer Skale, so erhält man die Korrekturen einer Schraubenumdrehung von $\frac{1}{10}$ zu $\frac{1}{10}$, das sind eben die periodischen Fehler. Sollte vom Anfang bis zum Ende aller benutzten Schraubenintervalle der fortschreitende Fehler seine Größe bereits merklich ändern, so ist er in leicht ersichtlicher Weise in Rechnung zu stellen.

Die Bestimmung der periodischen Fehler möge an einem Beispiel, der Schraube eines Okularmikrometers, näher erläutert werden; die Untersuchung wurde auf einem Longitudinalkomparator nach der Methode des Durchschiebens ausgeführt¹⁾. Als Hilfsmittel für die Untersuchung diente eine kleine in 0,25 mm geteilte Skale.

Die Vergrößerung des mit Okularmikrometer versehenen Mikroskops wurde so reguliert, daß 0,9 Umdrehungen ($= 0,9U$) der Mikrometerschraube sehr nahe einem Intervall der Hilfsskale entsprachen, und daß der Strich 11 der Hilfsskale eingestellt war, wenn der Index der Mikrometerschraube nahe ,0 (im Beispiel 8,0) angab. In dieser Lage wurden Einstellungen auf sechs Striche der Hilfsskale gemacht, welche als Mittel aus Hin- und Rückgang das folgende Resultat lieferten.

Strich der Skale	Ablesung des Mikrometers	Differenz in 0,001 U
11	7,995	— 0,5
10	8,894 ₅	— 4,5
9	9,790	+ 8,5
8	10,698 ₅	— 7
7	11,591 ₅	— 4
6	12,487 ₅	

¹⁾ Vgl. Thiesen, Scheel und Sell, Wiss. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanst. 2, 98 ff. (1895).

Hierauf wurden Skale und Mikroskop soweit gegeneinander verschoben, daß bei Einstellung des Fadenpaares auf den Strich 11 der Skale die Mikrometerablesung nahe gleich 8,1 war, und die sechs Striche wurden in dieser Lage eingestellt. Man fuhr so fort, bis man zehn Reihen erhalten hatte, deren letzte mit der Ablesung von nahe 8,9 für den Strich 11 begann.

Die weitere Rechnung wird nun ganz ähnlich wie diejenige im § 27 ausgeführt. Bezeichnet man die Intervalle der Mikrometerschraube, die auch i genannt werden mögen, mit eckigen, diejenigen des Maßstabes, auch k genannt, mit runden Klammern, so folgt aus den beiden ersten Mikrometerablesungen der obigen kleinen Tabelle in $0,001^U$:

$$\begin{aligned} & [8,0 \sim 8,9] = (10 \sim 11) + 0,5 \\ \text{oder} & [8,0 \sim 9,0] - [8,9 \sim 9,0] = (10 \sim 11) + 0,5 \\ \text{oder} & [8,9 \sim 9,0] = [8,0 \sim 9,0] - (10 \sim 11) - 0,5, \end{aligned}$$

ebenso als Differenzen der weiteren Mikrometerablesungen:

$$\begin{aligned} [9,8 \sim 9,9] &= [8,9 \sim 9,9] - (9 \sim 10) - 4,5 \\ [10,7 \sim 10,8] &= [9,8 \sim 10,8] - (8 \sim 9) + 8,5 \\ [11,6 \sim 11,7] &= [10,7 \sim 11,7] - (7 \sim 8) - 7 \\ [12,5 \sim 12,6] &= [11,6 \sim 12,6] - (6 \sim 7) - 4. \end{aligned}$$

Nimmt man in erster Annäherung an, daß fortschreitende Fehler der Schraube nicht vorhanden sind und bezeichnet die dann überall gleiche Höhe eines Schraubenganges mit m so ist

$$\begin{aligned} [8,0 \sim 9,0] &= [8,9 \sim 9,9] = [9,8 \sim 10,8] = [10,7 \sim 11,7] \\ &= [11,6 \sim 12,6] = m. \end{aligned}$$

Ebenso werden dann die Zehntelschraubenumdrehungen der linken Seiten der Gleichungen von dem speziellen Schraubengang losgelöst und die fünf Gleichungen nehmen die einfachere Form an:

$$\begin{aligned} [9 \sim ,0] &= m - (10 \sim 11) - 0,5 \\ [8 \sim ,9] &= m - (9 \sim 10) - 4,5 \\ [7 \sim ,8] &= m - (8 \sim 9) + 8,5 \\ [6 \sim ,7] &= m - (7 \sim 8) - 7 \\ [5 \sim ,6] &= m - (6 \sim 7) - 4. \end{aligned}$$

In dieser Weise finden sich die Zahlen in der Tabelle auf Seite 39, die analog der Tabelle in § 27 gebildet ist und alle in der skizzierten Weise nach der Methode des Durchschiebens er-

haltenen Beobachtungen zusammenfaßt, wieder, und zwar von der letzten Zahl rechts unten anfangend schräg nach oben links ansteigend.

Vergegenwärtigt man sich die Bedeutung der Zahlen der ersten Vertikalspalte, so ist $[,0 \sim ,1]$

$$\begin{aligned} &= m - (6 \sim 7) - 4,5 \\ &= m - (7 \sim 8) + 2 \\ &= m - (8 \sim 9) + 0 \\ &= m - (9 \sim 10) - 1 \\ &= m - (10 \sim 11) - 5,5 \end{aligned}$$

und es folgt durch Addition:

$$\begin{aligned} \Sigma &= 5 \cdot [,0 \sim ,1] \\ &= 5m - (6 \sim 11) - 9 \end{aligned}$$

oder

$$\begin{aligned} \frac{1}{5} \Sigma &= [,0 \sim ,1] \\ &= m - \frac{(6 \sim 11)}{5} - 1,8, \end{aligned}$$

oder wenn man

$$m - \frac{(6 \sim 11)}{5} = a$$

bezeichnet:

$$[,0 \sim ,1] = a - 1,8;$$

ebenso ergeben die folgenden Vertikalspalten:

$$\begin{aligned} [,1 \sim ,2] &= a - 2,8 \\ [,2 \sim ,3] &= a - 0,3 \\ &\text{usw.} \end{aligned}$$

Einheit: 0,001U.

$i =$ $k =$	$[,0 \sim ,1]$	$[,1 \sim ,2]$	$[,2 \sim ,3]$	$[,3 \sim ,4]$	$[,4 \sim ,5]$	$[,5 \sim ,6]$	$[,6 \sim ,7]$	$[,7 \sim ,8]$	$[,8 \sim ,9]$	$[,9 \sim ,0]$	Σ	$\frac{1}{10} \Sigma$	$c_k =$
	(6~7)	-4,5	-5,5	-3	-3	-6	-4	-1	-0,5	-4	-3	-34,5	-3,45
(7~8)	+2	-1,5	+1	-4	-3,5	+3,5	-7	+4	+1,5	+2,5	-1,5	-0,15	-3,45
(8~9)	0	-2,5	+1,5	+1	+4	-1	-1	+8,5	+2,5	0	+13	+1,30	-3,60
(9~10)	-1	-3	+0,5	-8,5	-3,5	-4	+1,5	+1	-4,5	-1,5	-23	-2,30	-2,30
(10~11)	-5,5	-1,5	-1,5	-9	-3,5	-2	-2,5	0	-4,5	-0,5	-30,5	-3,05	-4,60
Σ	-9	-14	-1,5	-23,5	-12,5	-7,5	-10	+13	-9	-2,5	-	-	-
$\frac{1}{5} \Sigma$	-1,8	-2,8	-0,3	-4,7	-2,5	-1,5	-2,0	+2,6	-1,8	-0,5	-	-	-
$c_k = 0,0$	-1,8	-4,6	-4,9	-9,6	-12,1	-13,6	-15,6	-18,0	-14,8	-15,3	-	-	-

Durch sukzessive Addition erhält man dann, ebenso wie im Beispiel des § 27, S. 34 die Korrekturen c_i :

bei ,0	0,0
„ ,1	$a - 1,8$
„ ,2	$2a - 4,6$
„ ,3	$3a - 4,9$
.....
bei ,0	$10a - 15,3$

Bei der Bestimmung der periodischen Fehler handelt es sich nur um innere Schraubengehler, d. h. der Schraubengang als Ganzes soll zunächst als fehlerfrei vorausgesetzt werden; es muß also nach einmaliger Umdrehung die Korrektur für ,0 wieder gleich 0 werden, wie am Anfang. Hierdurch bestimmt sich der Wert von a . In das Beispiel eingeführt, ergibt sich hiernach die Bedingung:

$$10a - 15,3 = 0,$$

woraus folgt:

$$a = 1,53.$$

Hiernach ergeben sich dann endlich die periodischen Korrekturen:

i	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	,0
δ_i	0,00	-0,27	-1,54	-0,31	-3,48	-4,45	-4,42	-4,89	-0,76	-1,03	0,00

Die periodischen Korrekturen der Schraube wurden noch ein zweites Mal bestimmt und dabei — was zugleich ein Bild der Messungsgenauigkeit liefert — folgende Werte erhalten:

i	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	,0
δ_i	0,00	+0,11	-0,78	-2,77	-5,56	-6,45	-3,54	-2,03	-2,42	+0,29	0,00

Als Mittel beider Reihen ergibt sich:

i	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	,0
δ_i	0,00	-0,08	-1,16	-1,54	-4,52	-5,45	-3,98	-3,46	-1,59	-0,37	0,00

Schließlich sind die Mittelwerte der Korrekturen noch durch eine nach \sin und \cos der Schraubenwinkel fortschreitende Reihe nach der Methode der kleinsten Quadrate dargestellt. Dabei ergab sich, daß die höheren Glieder der Reihe vernachlässigt werden können, die Korrekturen also sehr nahe einer einfachen Sinuskurve entsprechen. Es wurde gefunden:

$$\delta_i = -2,21 + 2,53 \cdot \cos \frac{2\pi i}{10} + 0,42 \sin \frac{2\pi i}{10},$$

wonach berechnet wurde:

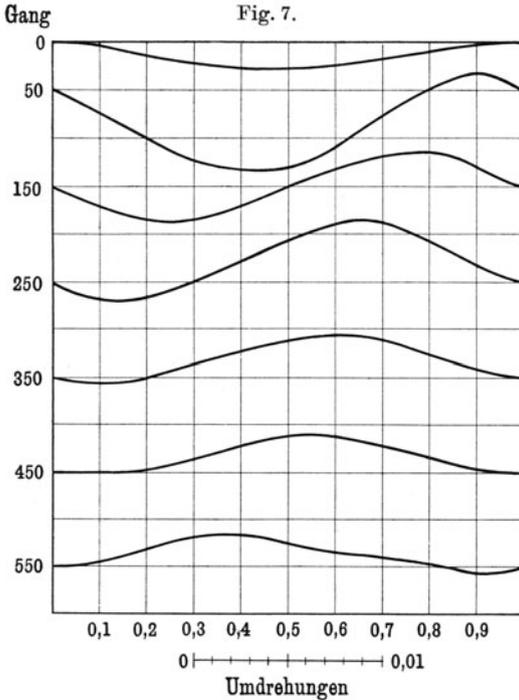
i	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	,0
δ_i	0,3	+ 0,1	- 1,0	- 2,6	- 4,0	- 4,7	- 4,5	- 3,4	- 1,8	- 0,4	0,3

Gleichzeitig mit den periodischen Schraubenfehlern sind wie immer bei der Methode des Durchschiebens die inneren Teilungsfehler der Hilfsskala ermittelt. Die Strichkorrekturen finden sich in der mit c_k überschriebenen Vertikalspalte der Tabelle S. 39. Die Werte sind in $0,001^U$ angegeben; die Umrechnung auf Skaleneinheiten geschieht auf Grund der Tatsache, daß ein Skalenintervall für den gedachten Zweck genau genug gleich $0,9$ Schraubenumdrehungen ist.

Bei Auswertung der direkten Beobachtungen der Tabelle S. 37 wurde angenommen, daß die für $7,995$; $8,894_5$ usw. gefundenen Beziehungen auch für die vollen Zehntel Schraubenumdrehungen $8,0$; $8,9$ usw. gelten. Im vorliegenden Falle ist diese Annahme unbedenklich; sind jedoch die periodischen Schraubenfehler größer als im angeführten Beispiel, so muß die Rechnung nötigenfalls noch in einer zweiten Annäherung durchgeführt werden. Man würde dabei so verfahren, daß man alle Lesungen wegen der periodischen Fehler verbessert und dann die Rechnungen genau so wie im Beispiel noch einmal anstellt. Man erhält dann eine Tabelle wie S. 39, die aber nur noch aus sehr kleinen Zahlen besteht und kleine additive Zusatzkorrekturen ergibt. Für die zweite Annäherung kann man dabei unbedenklich die Annahme der Gültigkeit der gefundenen Beziehungen für volle Zehntel Schraubenumdrehungen machen.

Gleiches gilt von den fortschreitenden Fehlern der Schraube. Auch wegen dieser muß man nötigenfalls eine zweite Annäherung rechnen. Die oben vorgebrachte Entwicklung läßt leicht übersehen, wie eine solche durchzuführen ist.

Die periodischen Fehler einer Schraube sind ebenso wie in dem mitgeteilten Beispiel im allgemeinen nur klein; bei kurzen Schrauben, wie denjenigen in Okularmikrometern, ändert sich



meist auch ihr Verlauf nur wenig, so daß es genügt, wie im Beispiel, die periodischen Fehler an einer Stelle der Schraube zu bestimmen. Bei längeren Schrauben darf man eine solche Annahme nicht mehr machen; doch ändern sich auch hier die periodischen Fehler kontinuierlich, so daß es genügt, sie für einige Stellen der Schraube zu ermitteln. Wie eine solche kontinuierliche Änderung verläuft, möge aus der graphischen Darstellung der periodischen Fehler einer Schraube von nahezu 600 mm nutz-

barer Länge von 50 zu 50 bzw. von 100 zu 100 Umgängen¹⁾ ersehen werden (Fig. 7). Der Betrag der periodischen Fehler ist auch hier nur klein (bis 0,004 Umgänge; vgl. den beigefügten Ordinatenmaßstab); indessen zeigen die Scheitelpunkte der Sinuskurven ein deutliches Wandern aus einem Azimut der Schraube in den anderen.

§ 31. Formen von Endmaßen²⁾. Die Endmaße wurden ursprünglich, z. B. von Bessel, bevorzugt, weil sie im Gegensatz zu den Strichmaßen von quadratischem Querschnitt erlaubten, die Längenmessung in der Ebene der neutralen Faser vorzunehmen und sich damit von kleinen Verbiegungen des Maßstabes, etwa infolge einer unebenen Unterlage, frei zu machen³⁾. Dieses Vorurteil ist aufgegeben, seit man Strichmaße höherer Präzision nicht mehr mit rechteckigem Querschnitt, sondern nach Art der internationalen und nationalen Prototype (vgl. § 10) mit solchem Querschnitt herstellt, daß auch die Teilung auf der neutralen Faser angebracht werden kann. Für wissenschaftliche Untersuchungen haben deshalb die Strichmaße die Endmaße in den meisten Fällen verdrängt. Auch zur Verkörperung der internationalen Maßeinheit des Meters dienen Strichmaße. Für technische Zwecke bieten die Endmaße dagegen manche Vorteile vor den Strichmaßen und sind darum dort sehr viel im Gebrauch.

Man unterscheidet Endmaße mit planparallelen, zylindrischen und sphärischen Endflächen. Nur genau planparallele Endflächen,

¹⁾ Zeitschr. f. Instrumentenk. 16, 329 (1896).

²⁾ Über Endmaße vgl. Ch. Éd. Guillaume, L'état actuel de la question des étalons à bouts. Proc. Verb. du Comité intern. des Poids et Mes. (2) 5, 142 bis 171 (1909); ein Auszug daraus in der Deutschen Mechanikerzeitung 1909, S. 196 bis 197, 204 bis 205.

³⁾ Um Verbiegungen der neutralen Ebene unschädlich zu machen, lagert man einen Maßstab auch wohl nicht direkt auf dem Komparatorische auf, sondern stützt ihn in Entfernungen von $\frac{1}{4}$ seiner Länge von beiden Enden durch untergelegte Rollen, welche dem Maßstab freie Ausdehnung sichern. Die Theorie lehrt, daß dann der Maßstab zwar je nach seiner Querschnittsform und -fläche eine mehr oder weniger starke Durchbiegung in der Mitte und an den Enden erleidet, daß aber der Abstand zweier in der neutralen Faser gelegenen Endstriche gegen den Abstand dieser Striche bei Auflagerung des Maßstabes auf einer ideal ebenen Unterlage nicht geändert ist.

deren Herstellung gewisse Erfahrungen erfordert, verkörpern die darzustellende Länge eindeutig; auch haben sie vor andersartigen Endmaßen den Vorzug, daß die Flächen den Meßdruck gut aufnehmen, weshalb man solche Endmaße auch in vertikaler Lage verwenden kann, indem die untere Fläche dann den vom Maßstab selbst ausgeübten Druck ohne Deformation aushält. Zylindrische Endmaße lassen sich besonders leicht und genau durch Schleifen herstellen und können mit gekreuzten Achsen zu zweien sicher zusammengesetzt werden. Sphärische Endmaße — für geringe Längen aus Vollkugeln, für größere Maße aus zylindrischen Körpern mit sphärischen Endflächen vom Krümmungshalbmesser gleich der halben Maßlänge bestehend — machen keine großen Herstellungsschwierigkeiten; ihre Zusammensetzung zu größeren Längen in einem passenden Lager oder Rohr ist besonders einfach. Bedenklich ist die mit abnehmendem Krümmungshalbmesser wachsende Deformation der Endflächen durch den Meßdruck. Guillaume empfiehlt daher für geringe Längen zylindrische Endmaße, für große Längen Endmaße mit sphärischen Endflächen und hält nur für ganz kleine Maße planparallele Platten für geeignet.

Als Material für Endmaße kommt wegen des bei der Benutzung aufzunehmenden, manchmal beträchtlichen Druckes nur ein sehr hartes Material in Frage. Am meisten benutzt wird harter Stahl, der aber infolge der voraufgegangenen Härtung Nachwirkungserscheinungen zeigt, die, innerhalb oft nicht unbeträchtlicher Grenzen, langsam dauernde Längenänderungen des Maßkörpers herbeiführen. Für längere Endmaße verwendet man häufig auch die bei Strichmaßen üblichen Materialien; die Endflächen werden dann besonders eingesetzt. In diesem letzteren Falle kann man für die Endflächen auch kostbarere Materialien, wie das recht harte, von Nachwirkungserscheinungen merklich freie Platiniridium, die Legierung der internationalen Prototype, wählen; auch Steine, wie Achat und dergleichen, werden zur Herstellung von Endflächen benutzt.

§ 32. Anschluß der Endmaße an Strichmaße. Der Anschluß der Endmaße an Strichmaße erfolgt unter Verwendung von sogenannten Anschiebezylindern; in ihrer einfachsten Form zwei mit je einem Teilstriche versehene Zylinder, welche jeder

mit einer Endfläche des Endmaßstabes zur Berührung gebracht werden. Das Endmaß wird so in ein Strichmaß verwandelt, welches mit einem schon bekannten verglichen wird. Hierauf bringt man nach Entfernung des Endmaßstabes, unter den gleichen Bedingungen wie vorher, die beiden Anschiebezylinder direkt zur Berührung miteinander und bestimmt die Entfernung ihrer Indexstriche wie bei der ersten Messung. Die Differenz beider Längenmessungen gibt die Länge des Endmaßes.

Die Anschiebezylinder können das Endmaß mit Kugeln oder ebenen Flächen berühren. Treffen hierbei zwei Kugelflächen zusammen, so müssen Endmaß und Anschiebezylinder sehr sorgfältig konaxial justiert werden. Bei Berührung von Kugelfläche und Ebene ist diese Justierung weniger genau erforderlich. Zum Zwecke der Justierung sind Maßstab und Anschiebezylinder in Rinnen gelagert, welche in der Höhe und seitlich verstellbar sind. Statt der Lagerung in Rinnen, die übrigens durch zwischengelegte Rollen oder Kugeln nahezu reibungslos gestaltet werden kann, kann man Maßstab und Anschiebezylinder auch in passender Weise justierbar aufhängen.

Ein wesentliches Erfordernis für eine einwandfreie Maßstabverglei-
chung ist die Konstanterhaltung des Druckes zwischen den sich berührenden Flächen. In der Regel genügen hierfür einfache Vorrichtungen, wie an Winkelhebeln angreifende Gewichte, die gegen die freien Enden der Anschiebezylinder drücken; indessen sind auch andere Vorrichtungen ausgedacht, welche den angegebenen Zweck mit größerer Genauigkeit zu erreichen erlauben (vgl. § 35).

Die Messung der Hilfslänge der Anschiebezylinder bei gegenseitiger Berührung läßt sich bei Benutzung einer von Airy angegebenen Methode umgehen, welche darin besteht, daß man wenigstens drei Endmaße benutzt, die jedes einen Hilfsstrich tragen. Die Endmaße werden aneinander geschoben, und es wird die Entfernung der Hilfsstriche voneinander durch Vergleichung mit einem bekannten Strichmaßstab bestimmt.

Bezeichnen wir mit $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$ für jeden der drei Endmaße a, b, c die Entfernungen des Hilfsstriches von den beiderseitigen Enden, so kann man durch passendes Aneinanderlegen der Endmaße folgende Kombinationen bestimmen:

$$\begin{array}{rcl}
 a_1 & + b_2 & = A \\
 a_1 & & + c_2 = B \\
 b_1 & & + c_2 = C \\
 b_1 & + a_2 & = D \\
 c_1 & + a_2 & = E \\
 c_1 & + b_2 & = F,
 \end{array}$$

woraus folgt:

$$\begin{array}{l}
 a = a_1 + a_2 = B - C + D = E - F + A \\
 b = b_1 + b_2 = D - E + F = A - B + C \\
 c = c_1 + c_2 = F - A + B = C - D + E.
 \end{array}$$

Jede Stablänge ist also doppelt bestimmt, was eine gute Kontrolle ergibt. — Durch Umdrehen von einem oder zwei der Maßstäbe kann man weitere Beziehungen gewinnen und so die Genauigkeit der Bestimmung erhöhen.

Auch bei der Airyschen Methode der Beziehung eines Endmaßes auf ein Strichmaß ist darauf zu achten, daß die Endflächen mit konstantem Druck aufeinanderliegen, wobei dieser konstante Druck in Rechnung zu ziehen ist. Ganz frei wird man von den elastischen Deformationen der Endflächen, wenn man rein optische Methoden der Vergleichung benutzt. Eine derselben, welche von Benoit und Guillaume ausgebildet ist, mag hier kurz skizziert werden. Die Methode beruht auf der Tatsache, daß das Spiegelbild eines Objekts ebensoweit hinter der spiegelnden Fläche liegt, wie das Objekt vor derselben. Setzt man ebene Begrenzungen eines Endmaßes voraus und spannt man vor diesen ebenen Begrenzungsflächen Kokonfäden aus, so ist es möglich, mit einer optischen Visiervorrichtung, etwa einem Okularmikrometer, auf die Mitte der Kokonfäden und ihrer Spiegelbilder zu pointieren, d. h. also indirekt auf die ebenen Begrenzungsflächen selbst und so gewissermaßen das Endmaß in ein Strichmaß zu verwandeln, das man mit einem bekannten Strichmaß vergleicht. — So einfach diese Methode an sich erscheint, so stellt sie doch wegen der unsymmetrischen Beleuchtung gewisse Anforderungen an die optischen Hilfsmittel, die nicht ganz leicht zu erfüllen sind ¹⁾.

Über andere optische Methoden der Längenmessung wird später, namentlich im sechsten Abschnitt, berichtet werden.

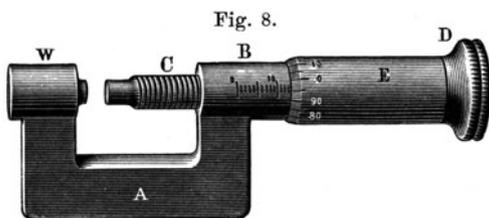
¹⁾ Vgl. hierzu Ch. Éd. Guillaume, La convention du mètre et le Bureau international des Poids et Mesures, S. 70 ff. Paris, Gauthier-Villars (1902).

§ 33. Vergleichung und Unterteilung von Endmaßen.

Für die Vergleichung und Unterteilung von Endmaßen finden zunächst die Ausführungen des § 32 sinngemäße Anwendung. Nahezu gleiche Endmaße werden nacheinander zwischen die Anschiebezylinder gebracht, und dadurch in Strichmaße verwandelt; solange es sich nur um Vergleichung von Endmaßen untereinander handelt, braucht die Nullage der Anschiebezylinder überhaupt nicht bekannt zu sein. Auch die zuletzt beschriebene optische Methode der Einstellung auf die Mitte zwischen einem Objekt und dem Spiegelbild in der Begrenzungsfläche eines Endmaßstabes ist auf die Vergleichung von Endmaßstäben ohne weiteres anwendbar.

Für die Untersuchung von Unterteilungen der Endmaße ist zunächst die Airysche Methode in leicht ersichtlicher Weise benutzbar. Andererseits vermag man, wenn die Unterteilungen der Endmaße in derselben Weise durchgeführt sind, wie die später zu behandelnde Stückelung von Gewichtssätzen (§ 58), aus den Unterteilungen stets höhere Einheiten zusammensetzen und so die Bestimmung der Teile ähnlich wie bei der Bestimmung eines Gewichtssatzes auf Vergleichung nahe gleicher Größen zurückzuführen.

§ 34. Mikrometerschraube. Die direkte Vergleichung zweier nahe gleicher Endmaße oder die Kalibrierung von End-



maßen wird erleichtert, wenn man nicht mehr jedesmal auf das Strichmaß zurückgreift, sondern sich der zu solchen Messungen besonders geeigneten Mikrometerschraube bedient.

Fig. 8 stellt die Mikrometerschraube in ihrer einfachsten Form dar. Das Maßstück, dessen Länge oder Dicke bestimmt werden soll, wird innerhalb des Bügels A zwischen einen festen Anschlag W und das zylinderförmige Ende einer Schraube C

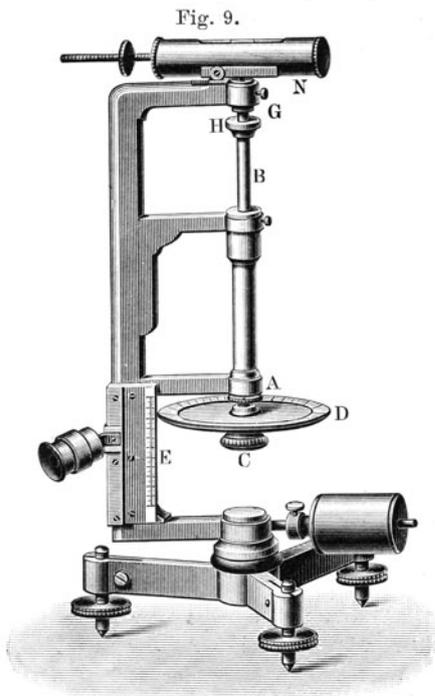
gebracht; *W* und *C* vertreten also gewissermaßen die im § 33 genannten Anschiebezylinder. Die Schraube läuft in einer langen Mutter *B*, welche der ringförmig ausgebohrte Schraubenkopf *E* umfaßt. Die Schraube hat in der Regel eine Ganghöhe von 1 mm, während der Trommelkopf vielfach in 100 Teile geteilt ist. Der Griff *D* sitzt nur mit Reibung auf dem Schraubenkopf auf; hierdurch wird verhindert, daß der Druck, welcher auf das zwischen *W* und *C* eingelegte Maßstück wirkt, über einen bestimmten Betrag wächst.

Die Mikrometerschraube dient in erster Linie zur Vergleichung nahe gleicher Maßstücke, welche abwechselnd zwischen *W* und *C* gebracht werden. Die Schraube dient also nur zur Ausgleichung kleiner Differenzen. In diesem Falle kann die einfache Vorrichtung recht genaue Resultate geben, namentlich wenn man Sorge trägt, daß Erwärmungen der Schraube und des Bügels während der Messungen vermieden werden. In der Technik wird — allerdings mit mäßigerem Anspruch an Genauigkeit — die Mikrometerschraube häufig auch als Meßinstrument zur Bestimmung absoluter Längen benutzt.

§ 35. Meßmaschinen. Die Meßmaschinen bilden eine Vervollkommnung der im § 34 beschriebenen Mikrometerschrauben. An Stelle des Bügels *A* tritt bei den Meßmaschinen ein solider Unterbau, der ein Lager für die zu vergleichenden Maßkörper enthält. Die Maßkörper werden durch einen festen und einen beweglichen Anschlag begrenzt; der letztere wird durch eine Schraube gebildet, die in einer längs des Lagers verschiebbaren Mutter sitzt. Zur Ermittlung des Längenunterschiedes trägt der bewegliche Anschlag ein Mikroskop, durch welches man auf eine feste Teilung neben dem Lager visiert, oder aber das Mikroskop steht fest neben dem Lager und ist auf eine mit dem beweglichen Anschlag verbundene Skale gerichtet. Im ersteren Falle werden kleine Unregelmäßigkeiten der Lagerung des beweglichen Anschlages, wie es bei dem Longitudinalkomparator im § 20 auseinandergesetzt ist, durch den Arm, an dem das Mikroskop sitzt, hebelartig vergrößert und geben so zu Fehlern Veranlassung. Eine solche Fehlerquelle ist auch im Falle der Teilung auf dem beweglichen Anschlag nicht völlig vermieden, tritt aber nicht so stark auf.

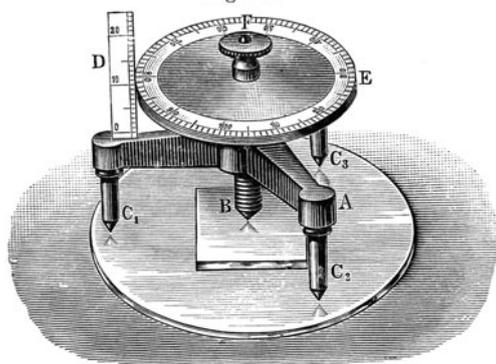
Die Meßmaschinen sind in der Regel mit einer Vorrichtung versehen, welche die Gleichmäßigkeit des Druckes auf die Endflächen der Maßkörper zu regeln gestattet. Die Vorrichtung kann z. B. eine mit dem festen Anschlag verbundene Sperrung sein, die bei einem gewissen Druck selbsttätig den Fall eines Körpers auslöst. Bei anderen Meßmaschinen drückt der feste Anschlag rückwärts auf ein Metallreservoir, welches mit Flüssigkeit gefüllt ist; die Flüssigkeit steigt in einer mit dem Metallgefäße verbundenen Kapillare in die Höhe und zeigt den Druck an. Diese letztere Vorrichtung hat den Vorteil, daß man den Maßkörper verschiedenen stets genau reproduzierbaren Drucken aussetzen kann.

§ 36. **Sphärometer.** Ein zur Messung kleiner Längen häufig gebrauchtes Instrument ist das Sphärometer, dessen eine Form in Fig. 9 abgebildet ist. Die zu untersuchenden Körper werden vertikal wiederum zwischen einen festen (*G*) und einen beweglichen Anschlag (*H*) gebracht. Der bewegliche Anschlag besteht aus einem zylindrischen Körper *B*, der durch eine in *A* laufende Schraube in der Höhe verschoben wird. Die Schraube wird durch Drehen an *C* betätigt; ihre Stellung wird an der mit ihr fest verbundenen geteilten Scheibe *D* in Verbindung mit einem kleinen Maßstab *E* abgelesen. Zur Erzielung konstanten Druckes wirkt der feste Anschlag nach oben auf eine Libelle *N*, welche durch Drehen an der Schraube *C* zum Einspielen gebracht werden muß.



Eine andere Form des Sphärometers gibt die Fig. 10 wieder. Ein Dreifuß steht mit seinen zugespitzten Füßen $C_1 C_2 C_3$ auf einer ebenen Glasplatte A . Durch die Mitte des Dreifußes geht die Meßschraube F , deren Stellung wieder an der geteilten Scheibe E und dem Maßstab D bestimmt wird. Die Schraube wird bis zur Berührung mit dem Versuchskörper gesenkt. Die Berührung wird grob daran erkannt, daß das ganze Instrument um die berührende mittlere Spitze zu wackeln beginnt. Ein feineres Anzeichen für die Berührung kann man in der Weise schaffen, daß man entweder zwischen A und B oder zwischen B

Fig. 10.



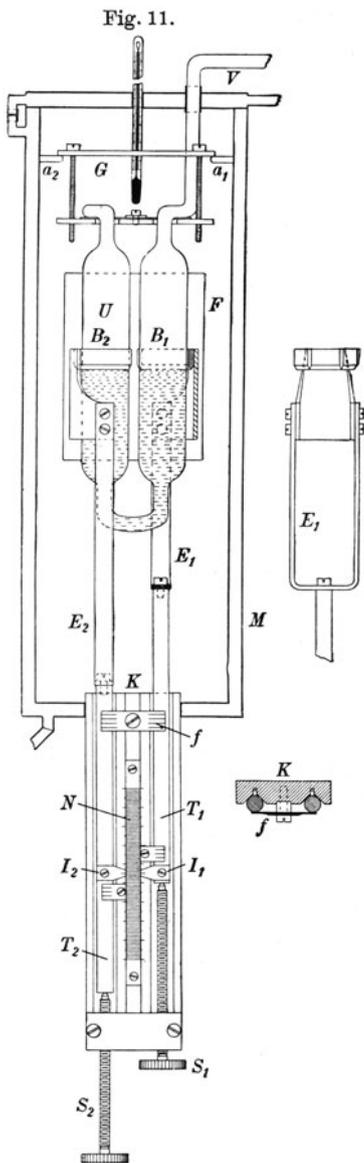
und einer aufgelegten Glasplatte Fizeausche Interferenzstreifen erzeugt, die zu wandern beginnen, sobald die Meßschraube einen, wenn auch nur kleinen Druck auf die Platte ausübt.

§ 37. Messung der Höhenunterschiede von Quecksilbersäulen. Diese Aufgabe tritt bei manometrischen Messungen auf. Hier soll nur der rein metronomische Teil der Aufgabe behandelt werden; die Druckmessungen als solche scheidern von der Betrachtung aus. Die Aufgabe soll ferner darauf beschränkt werden, daß die zu vergleichenden Quecksilberkuppen in nahezu gleichweiten Glasröhren oder -kugeln sich neben- oder übereinander befinden.

Die Genauigkeit, mit welcher manometrische Messungen an Quecksilberkuppen ausgeführt werden sollen, wächst in der Regel mit abnehmendem Druck. Bei Quecksilbersäulen von Barometerhöhe wird im allgemeinen eine Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm ver-

langt; eine größere Genauigkeit anzustreben, ist schon aus Gründen, die in dem physikalischen Verhalten der Quecksilbersäulen liegen, unnötig. Die gewünschte Genauigkeit würde eine kathetometrische Messung leicht liefern. Die Methode versagt aber, weil man auf die Quecksilberkuppen nur durch die gekrümmten, niemals ganz schlierenfreien Glasröhren hindurch einstellen kann, und weil durch Brechung und Reflexion des Lichtes an den Röhrenwänden in der Regel eine falsche Lage der Kuppe vorgetauscht wird. Diese Schwierigkeiten sind bisher auf drei verschiedenen Wegen umgangen worden.

Die erste Methode benutzt mit gutem Erfolge ein sogenanntes Visier, das sind zwei miteinander verbundene Schneiden, welche beide durch eine passende Führung stets genau in derselben Horizontalebene liegen. Die eine der Schneiden befindet sich vor, die andere hinter der Quecksilberkuppe; man schiebt das Visier von oben an die Quecksilberkuppe heran und stellt es so ein, daß der zwischen der Verbindungsebene der Schneiden und der Quecksilberkuppe verbleibende Lichtschein gerade verschwindet. Bei dem Wild-Fueßschen Normalbarometer (vgl. § 63) wird die Lage des Visiers und damit die



Höhe der Quecksilbersäule mit Hilfe eines Nonius an einer auf der Führungsröhre angebrachten Teilung abgelesen.

Eine andere Anwendung der Visiere zeigt Fig. 11. Hier handelt es sich um ein U-förmiges Manometer U , welches in einem justierbaren Gehänge G an den Vorsprüngen $a_1 a_2$ eines mit Fenstern F versehenen doppelwandigen Heizkastens M hängt¹⁾. Die Visiere umspannen die Manometerschenkel, ohne sie jedoch zu berühren. Sie werden in gabelförmigen Haltern E_1 und E_2 von Stangen T_1 und T_2 , die durch den Boden des Heizkastens nach außen führen, getragen und durch an die Stangen angreifende Transportschrauben S_1 und S_2 in der Höhe verschoben. Die Stangen T_1 und T_2 gleiten in sorgfältig ausgeschliffenen, einander parallelen Nuten des Metallklotzes K ; sie werden durch Federn f in die Nuten eingedrückt, so daß sie mit mäßiger Reibung in den Nuten gleiten und sich stets durch ihr Eigengewicht auf die Transportschrauben S_1 und S_2 auflegen. Mit den Stangen sind die Strichindizes I_1 und I_2 verbunden, welche neben einer Teilung N gleiten und den Höhenunterschied der beiden Visiere und damit der Quecksilbersäulen festzustellen gestatten. — Mit dem Instrument, dessen Meßbereich 100 mm betrug, wurde eine Meßgenauigkeit von $\pm 0,005$ mm erreicht.

Eine zweite Methode zur Messung von Quecksilberhöhen ist von Thiesen²⁾ angegeben. Sie besteht darin, daß man hinter der das Quecksilber enthaltenden Glasröhre, oder besser einem Troge mit planen Glaswänden, vertikal einen Maßstab aufstellt und durch mikrometrische Messung des Abstandes zwischen einem direkt und einem in der Quecksilberoberfläche gespiegelten Striche die Lage der Quecksilberoberfläche gegen die Teilung festlegt. Man sieht also die Quecksilberoberfläche gar nicht direkt, sondern berechnet ihre Lage als die Mitte zwischen einem Strich und seinem Spiegelbild. Die Methode verlangt große Quecksilberoberflächen, weil sonst das Spiegelbild nicht mehr in einem genügend ebenen Teil der Oberfläche zustande kommt und darum verzerrt erscheint. Selbst bei einem Rohrdurchmesser von 58 mm war noch ein Einfluß der Oberflächenkrümmung deutlich bemerk-

¹⁾ Karl Scheel und Wilhelm Heuse, Zeitschr. f. Instrumentenk. 30, 45 bis 47 (1910).

²⁾ M. Thiesen, Ebenda 6, 89 bis 93 (1886); vgl. auch Wiss. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt 3, 77 u. 82 (1900).

bar. Derselben wurde durch die folgende Regel Rechnung getragen. Ist bei den direkt gesehenen Strichen der Wert eines normalen Intervalls gleich α Trommelteilen des Mikrometers, so hat diese Größe für die gespiegelten Striche den kleineren Wert α' . Ist daher x in Trommelteilen der Abstand eines direkt gesehenen Striches von der Oberfläche, x' der Abstand seines Spiegelbildes, so wird dieser Abstand in Teilen eines Intervalls:

$$\frac{x}{\alpha} = \frac{x'}{\alpha'} = \frac{x + x'}{\alpha + \alpha'}.$$

Der letzte Ausdruck enthält aber nur direkt gemessene Größen, da $x + x'$ der direkt gemessene scheinbare Abstand zwischen einem Strich und seinem Spiegelbild ist. Für α und α' sind dabei stets die vor und nach der Messung von $x + x'$ direkt bestimmten Werte benutzt worden. — Gehören die beiden Strichbilder, deren Abstand gemessen wurde, nicht zusammen, steht vielmehr das Spiegelbild um ein Intervall weiter von der Oberfläche ab, so wird der Abstand der Oberfläche von der Mitte der beiden Striche:

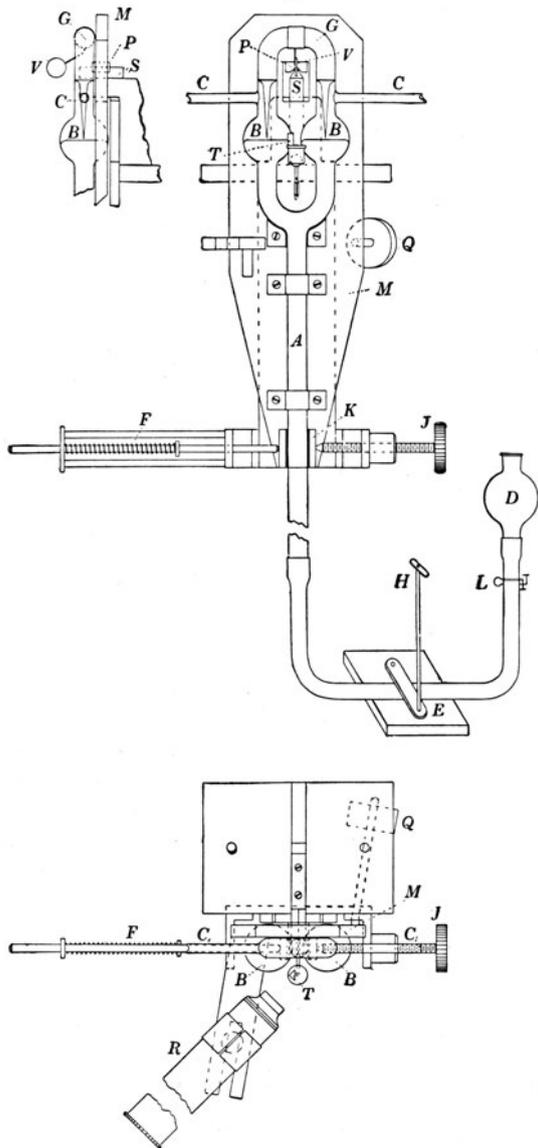
$$\frac{x + x' + \frac{1}{2}(\alpha - \alpha')}{\alpha + \alpha'}.$$

Mit einem solchen Manometer wurde der Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei 0° gleich 4,579 mm Quecksilber von 0° und normaler Schwere mit einer Genauigkeit von $\pm 0,001$ mm gemessen, ein Wert, der später nach einer anderen Methode innerhalb dieser Genauigkeitsgrenze bestätigt wurde.

Ferner wurde ein Manometer der beschriebenen Art bei den Bestimmungen der Ausdehnung des Wassers nach der Methode der kommunizierenden Röhren (§ 72) benutzt. Dort wurde ein Strich direkt durch das Wasser hindurch und sein durch totale Reflexion in der Kuppe entstandenes Bild beobachtet. Die Fehler der Messung sind wegen der größeren Kapillarkonstante des Wassers beträchtlicher.

Auch die dritte Methode zur Bestimmung der Höhe einer Quecksilbersäule benutzt die Gesetze der Spiegelung. Man nähert der Quecksilberkuppe eine Metall- oder Glasspitze und stellt auf die Mitte zwischen der Spitze und ihrem Spiegelbild ein. Diese Methode erscheint als die vollkommenste, weil bei ihr alle falschen Reflexe und auch die durch die Krümmung der Kuppe

Fig. 12.



bedingten Fehler fortfallen; die Einstellung ist eine ungemein scharfe. Die Methode der Spitzeneinstellung wird vielfach bei Gasthermometrischen und ähnlichen Messungen benutzt; sie ist dort mit Vorteil verwendbar, weil die eine der Spitzen, welche an der Seite des geschlossenen Schenkels des Manometers sich befindet, fest angeordnet ist, da sie ja gewissermaßen die Begrenzung des Gasthermometergefäßes darstellt. Bei anderen Messungen kann die Unbeweglichkeit dieser Spitze ein Hindernis für die Anwendbarkeit der Methode werden.

In genialer Weise hat Lord Rayleigh¹⁾ zwei feststehende Spitzen zur Messung kleiner Drucke benutzt. Der Meßbereich seines Instrumentes ist durch einige Abänderungen neuerdings bis auf 5 mm erweitert worden; auch ist es gelungen, durch bewegliche Anordnung der einen Spitze die Spitzenmanometer noch für höhere Druckintervalle verwendbar zu machen. Diese beiden Arten von Manometern²⁾ sollen hier kurz beschrieben werden.

Das abgeänderte Rayleighsche „Neigemanometer“ besteht (Fig. 12) aus zwei gleich großen Glaskugeln *BB* von etwa 25 mm Durchmesser, welche gabelförmig zu einem gemeinsamen Stiel *A* verbunden sind. Der untere Teil dieser Glaskugeln ist nebst dem Stiel *A* mit Quecksilber gefüllt, welches durch einen Schlauch mit dem in einem Reservoir *D* befindlichen Quecksilber kommuniziert. Von den Kugeln *BB* führen federnde Glasrohre *CC* zu den Gasräumen; in die Kugeln *BB* ist je eine Glasspitze eingeschmolzen, deren rückwärtige Verlängerungen aus Stabilitätsgründen zu einem Bügel *G* verbunden sind. Die Glaskugeln und die damit fest verbundenen Teile sind auf einer Messingplatte *M* montiert und mit dieser in der Pfanne *P* um eine zur Zeichnungsebene senkrechte Achse *S* drehbar.

Durch gleichzeitiges Drehen an der Schraube *J* und Heben und Senken des Quecksilbers unter Betätigung der Schlauchklemme *E* mittels des Handgriffes *H* kann man nach Absperren des Reservoirs *D* durch einen Quetschhahn *L* die Glasspitzen in beiden Kugeln in gleichen sehr kleinen Abstand von ihren Spiegelbildern und somit auch von den Quecksilberoberflächen bringen. Die

¹⁾ Lord Rayleigh, Phil. Trans. Roy. Soc. London (A) 196, 205—223 (1901); Zeitschr. f. phys. Chem. 37, 713—734 (1901).

²⁾ Karl Scheel und Wilhelm Heuse, Zeitschr. f. Instrumentenk. 29, 344—349 (1909).

Schätzung gleichen Abstandes zwischen Spitzen und Spiegelbildern in beiden Manometerkugeln wird durch Benutzung eines mit dem neigbaren Teil des Manometers fest verbundenen Mikroskops *R* erleichtert, in dessen Gesichtsfeld unter Benutzung des total reflektierenden Prismas *T* die Bilder der beiden Spitzen unmittelbar nebeneinander gebracht werden.

Aus der Neigung des Instruments läßt sich der Druckunterschied in den beiden Kugeln *BB* berechnen. Zur Messung der Neigung dient der in der Verlängerung der Drehungsachse befindliche Spiegel *V*, der mit Skale und Fernrohr beobachtet wird. Bezeichnet man den Drehungswinkel des Spiegels gegen seine Vertikalstellung mit α , den zugehörigen Skalenausschlag mit *H*, den ein für allemal komparatorisch zu bestimmenden Abstand der Spitzen mit *d* und den Abstand vom Spiegel zur Skale mit *D*, so gelten zur Berechnung des Druckunterschiedes *h* die Beziehungen

$$h = d \cdot \sin \alpha$$

$$H = D \cdot \tan 2\alpha.$$

Anstatt für jede einzelne Beobachtung aus der zweiten Gleichung den Winkel α zu berechnen und in die erste Gleichung einzusetzen, dividiere man beide Gleichungen. Dann ist

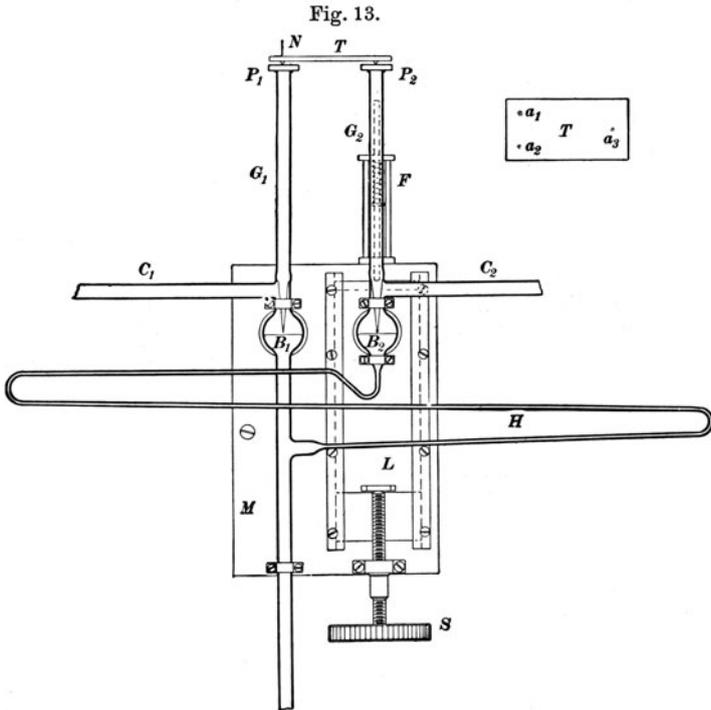
$$h = H \cdot \frac{d}{2D} \cdot \frac{2 \sin \alpha}{\tan 2\alpha},$$

wo $\frac{2 \sin \alpha}{\tan 2\alpha}$ ein Korrektionsfaktor ist, der sich nur wenig von 1 unterscheidet. Bei nahezu konstant bleibendem *D* kann er ein für allemal auf Grund der Gleichung $H = D \tan 2\alpha$ in Abhängigkeit von *H* berechnet werden.

Die Messung des Sättigungsdruckes des Wasserdampfes bei 0° ergab für diese Naturkonstante den Wert 4,5788, mit einer Genauigkeit von $\pm 0,0006$ mm, in völliger Übereinstimmung mit dem nach anderer Methode gefundenen Resultat (S. 53).

Das zweite vorhin angedeutete Spitzenmanometer, das Höhenunterschiede der Quecksilbersäulen bis zu 30 mm zu messen gestattet, ist in Fig. 13 abgebildet. Die beiden in Kugeln auslaufenden Schenkel des Manometers sind auf einer rechteckigen Platte *M* montiert. Der eine Schenkel mit der Kugel *B*₁ ist mit der Messingplatte durch Klammern fest verbunden; der andere Schenkel mit der Kugel *B*₂ liegt in einem, durch die Schraube *S* in der

Höhe verstellbaren Schlitten L , der durch eine Feder F gegen die Schraube S gedrückt wird. Die Kommunikation zwischen beiden Manometerschenkeln wird durch eine fast 1 m lange Glasfeder H bewirkt, welche sich auch für die größten vorkommenden Verschiebungen von B_2 (30 mm) als genügend nachgiebig erwiesen hat. Von den Kugeln führen die Röhren C_1 und C_2 zu



den Gasräumen, deren Drucke verglichen werden sollen. In die Manometerkugeln sind wieder bis zur Mitte der Kugeln reichende Glasspitzen eingeschmolzen, auf deren nahe Berührung mit den Quecksilberoberflächen eingestellt wird.

Zur Bestimmung des Höhenunterschiedes der beiden Glasspitzen sind diese rückwärts nach oben durch Glasrohre G_1 G_2 verlängert und auf die Glasrohre ebene, horizontal gelagerte Glasplatten P_1 P_2 gekittet. Auf die Glasplatten kann ein Tischchen

T gesetzt werden, auf dem ein Spiegel N senkrecht angeordnet ist. Das Tischchen T ruht auf drei Spitzen derart, daß zwei derselben a_1 und a_2 auf der Glasplatte P_1 , die dritte a_3 auf der Platte P_2 aufsitzen; auf diese Weise wird beim Heben und Senken von B_2 das Tischchen um eine in der Oberfläche von P_1 liegende Achse, die Verbindungslinie von a_1 und a_2 , gedreht. Die Größe der Drehung wird mittels Skale und Fernrohr aus der gleich großen Deckung des Spiegels abgeleitet. Ist außerdem die senkrechte Entfernung des Fußchens a_3 von der Verbindungslinie der Füßchen a_1 und a_2 bekannt, so kann man aus der Entfernung von Spiegel und Skale, sowie dem Skalenausschlag die Höhenänderung von B_2 selbst berechnen.

Auf solche Weise kann man direkt Höhenunterschiede der beiden Quecksilbersäulen bis 5 mm messen. Wird der Höhenunterschied infolge eines höheren Druckes in B_2 größer, so würde die Neigung des Tischchens unbequem groß werden; es ist deshalb vorgesehen, daß dann das Tischchen T nicht mehr direkt auf P_2 , sondern erst auf eine auf P_2 gelegte planparallele Zwischenglasplatte gesetzt wird. Beobachtung und Rechnung erfolgt dann wie vorher, nur daß die Dicke der zwischengelegten Glasplatte genau bestimmt und mit in Rechnung gezogen werden muß. Statt der einen Platte können bei weiterer Erhöhung des zu messenden Druckes mehrere solcher Platten gleichzeitig aufgeschichtet werden. — Die Genauigkeit in der Messung der Höhenunterschiede wird bei dem beschriebenen Instrument auf $\pm 0,002$ mm bewertet.

Zweiter Abschnitt.

Einfluß der Temperatur bei den Längenmessungen. Wärmeausdehnung.

§ 38. **Material der Maßstäbe.** Als Material für Präzisionsmaßstäbe kommen fast ausschließlich Metalle in Frage und unter diesen wieder nur diejenigen, welche hohen Ansprüchen an Härte und Unveränderlichkeit genügen, das sind Messing oder Bronze, Stahl, der aber nicht immer frei von Nachwirkungserscheinungen

ist, demzufolge sich seine Länge langsam mit der Zeit ändert, ferner das für die internationalen Prototype und deren nationale Kopien verwendete Platiniridium, endlich Nickelstahl. Für kürzere Maßstäbe minderer Bedeutung verwendet man vielfach Glas, auch wohl Quarz.

Alle aus solchen Materialien hergestellten Maßstäbe ändern ihre Länge mit der Temperatur; am meisten unter ihnen Messing, dessen Längenänderung 18 bis $19 \cdot 10^{-6}$ für einen Grad Temperaturänderung beträgt, danach folgt Stahl mit etwa $11 \cdot 10^{-6}$, Platiniridium mit $8,8 \cdot 10^{-6}$, Jenaer Glas 16^{III} mit $8 \cdot 10^{-6}$, Jenaer Glas 59^{III} mit $5,9 \cdot 10^{-6}$. Sehr viel kleinere Ausdehnung besitzen Nickelstahl, eine Legierung von 64 Proz. Eisen und 36 Proz. Nickel, die auch unter dem Namen Invar bekannt ist und deren Längenänderung pro 1° nur etwa $2 \cdot 10^{-6}$, also weniger als $\frac{1}{4}$ des Platiniridiums beträgt, und der umgeschmolzene Quarz, auch Quarzglas genannt, ein Material, das sich für 1° Temperaturerhöhung um weniger als $0,5 \cdot 10^{-6}$ seiner Gesamtlänge ausdehnt.

Die hier mitgeteilten Werte der Wärmeausdehnung sind nur als angenäherte aufzufassen. In Wirklichkeit variiert die Größe der Ausdehnung nicht nur von Material zu Material, sondern kann auch für Körper, die vom gleichen Material gefertigt sind, ja häufig für solche von gleichem Guß, erheblich verschiedene Beträge haben. Auch die mechanische Bearbeitung, sowie kleine Verunreinigungen können die Größe der Ausdehnung stark beeinflussen, so daß sich etwa dünne Drähte thermisch ganz anders verhalten wie dickere Stäbe, aus denen die Drähte gezogen sind.

Insbesondere aber ist die Wärmeausdehnung eines Körpers nicht bei allen Temperaturen die gleiche, sondern nimmt, auf 1° Temperaturdifferenz bezogen, in der Regel mit steigender Temperatur stark, vielfach auch beschleunigt zu. Die Ausdehnung pro 1° ist also fast immer eine mit der Temperatur wachsende Größe. Man pflegt sie durch eine Potenzreihe der Temperatur darzustellen, wenn auch wahrscheinlich ist, daß das eigentliche Gesetz, das die Erscheinung regiert, eine ganz andere Form hat. Was für die Längenänderung gilt, gilt natürlich auch für die Länge eines Körpers selbst, welche man gleichfalls durch eine Potenzreihe in Abhängigkeit von der Temperatur darstellt. Be-

zeichnen also $a, b, c \dots$ Konstante, so wird die Länge l_t eines Körpers durch die Länge bei 0° l_0 ausgedrückt als

$$l_t = l_0(1 + at + bt^2 + ct^3 + \dots).$$

Für viele Fälle wird man diese Reihe mit genügender Annäherung bereits beim quadratischen Gliede abbrechen können. Die Wärmeausdehnung von Körpern zu bestimmen, ist eine wesentliche Aufgabe der Metronomie.

§ 39. Normaltemperatur eines Maßstabes. Im vorigen Abschnitt war stets nur von der Länge eines Maßstabes schlechtweg die Rede. Aus dem im § 38 Gesagten geht jedoch hervor, daß hierbei über die Temperatur, als einen die Länge des Maßstabes wesentlich mitbestimmenden Faktor, genaue Festsetzungen gemacht werden müssen.

Diese Festsetzungen sind bereits bei Schaffung des französischen metrischen Maßsystems getroffen und später von der internationalen Meterkonvention übernommen. Hiernach gilt als Normaltemperatur für die internationalen Prototype und die nationalen Kopien die Temperatur des schmelzenden Eises, 0° , d. h. bei dieser Temperatur sind die Normalmaßstäbe richtig bzw. haben sie eine Korrektion, welche ermittelt und angegeben wird. Bei jeder anderen Temperatur weicht die Länge des Maßstabes von der Normallänge ab; sie läßt sich aber aus dieser berechnen, wenn man die Temperatur und die Art der Ausdehnung kennt. Zur völligen Charakterisierung eines Maßstabes genügt es also nicht, anzugeben, um wieviel derselbe bei der Normaltemperatur 0° von seinem Nominalwert abweicht, sondern man muß noch das Gesetz der Ausdehnung hinzufügen. Dies führt zu der vollständigen, sogenannten Gleichung eines Maßstabes. In diesem Sinne ist die vollständige Gleichung der dem Deutschen Reiche seinerzeit durch das Los zugefallenen Kopie des internationalen Prototyps aus Platiniridium:

$$\text{Nr. 18} = 1 \text{ m} - 1,0 \mu + [8,642 \cdot t + 0,001 \cdot t^2] \cdot 10^{-6} \mu.$$

Die Charakterisierung eines Maßstabes durch seine Gleichung ist für den Gebrauch recht bequem. Handelt es sich beispielsweise um die Vergleichung eines Maßstabes von bekannter Ausdehnung etwa mit obigem Prototyp Nr. 18, so braucht man nur die Gleichung des zweiten Maßstabes A in der Form anzusetzen:

$$A = 1 \text{ m} + x \mu + [at + bt^2] \cdot 10^{-6} \mu$$

und die Vergleichung Nr. 18 — A bei einer Temperatur durchzuführen. Man erhält dann sofort x als die einzige Unbekannte. Zweckmäßiger wird es freilich sein, und das gilt namentlich von Messungen der höchsten Präzision, auch die Ausdehnung des zweiten Stabes nicht als bekannt vorauszusetzen. Es würden also auch die Größen a und b durch Messung zu bestimmen sein. Man erhielte dann x , a und b als Unbekannte aus drei Gleichungen, die aus einer Vergleichung der beiden Maßstäbe bei drei verschiedenen Temperaturen hervorgehen. Noch besser ist es, sich nicht bloß auf drei Temperaturen zu beschränken, sondern die Vergleichung bei vielen (n) Temperaturen vorzunehmen. Dann stände zur Berechnung der drei Unbekannten ein System von n Gleichungen zur Verfügung, die nach einem Ausgleichverfahren, etwa nach der Methode der kleinsten Quadrate, auszuwerten wären.

In neuerer Zeit sind vielfach Bestrebungen hervorgetreten, die Temperatur 0° als Normaltemperatur zu beseitigen. Namentlich verlangt die Feintechnik vielfach nach Maßen, insbesondere Endmaßen, welche bei einer anderen Temperatur 15° , 18° , 20° richtig sein sollen. Abgesehen davon, daß sich die Interessenten bisher auf eine dieser Temperaturen nicht haben einigen können, würde durch die Berücksichtigung solcher Wünsche in unserem sonst so geordneten Maßwesen eine nicht wieder gut zu machende Verwirrung entstehen.

§ 40. Temperaturskale. Temperaturen werden in der Celsiusskale gemessen, nach welcher die Temperatur des schmelzenden Eises mit 0° , die Temperatur des siedenden Wassers mit 100° bezeichnet wird. Genauer genommen wird die Temperatur auf diese Weise aus dem Verhalten eines idealen Gases abgeleitet, und man bezeichnet als einen Grad in der thermodynamischen Skale denjenigen Temperaturbereich, für welchen sich der Druck eines eingeschlossenen idealen Gases um $0,003662$ seines Anfangsdruckes von 1000 mm bei 0° erhöht.

Ideale Gase sind nicht bekannt, doch kommen einige Gase dem Idealzustand bereits nahe namentlich, wenn sie noch genügend weit von ihrem Kondensationspunkt entfernt sind. Solche Gase sind in erster Linie Helium, dann aber das ihm in gewöhnlicher Temperatur in bezug auf thermische Eigenschaften nahezu

gleichwertige Wasserstoffgas. Vor Entdeckung des Heliums war bereits die Skale des Wasserstoffthermometers international als Normalskale vereinbart. Ihre Abweichung von der thermodynamischen Skale beträgt bei $-200^{\circ} + 0,06^{\circ}$, bei $50^{\circ} - 0,0005^{\circ}$, bei $200^{\circ} + 0,003^{\circ}$, bei $1000^{\circ} + 0,05^{\circ}$.

Bei gewöhnlichen Messungen ist die Handhabung des Gas-thermometers zu schwierig und umständlich. Man benutzt statt dessen seit den Anfängen der wissenschaftlichen Metronomie die Quecksilberthermometer, zu denen in neuerer Zeit Platinwiderstandsthermometer und Thermolemente hinzugekommen sind. Zur Messung sehr hoher Temperaturen sind die Strahlungsgesetze dienstbar gemacht; die hierauf beruhenden optischen Pyrometer scheidet aber von der Betrachtung an dieser Stelle aus, da sie in der Metronomie kaum Verwendung finden dürften.

Quecksilberthermometer, Platinthermometer und Thermolemente werden in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geeicht bzw. geprüft, d. h. im letzteren Falle, es wird durch eine Untersuchung festgestellt, welche Korrekturen den einzelnen Ablesungen hinzuzufügen sind, um die Angaben der Instrumente auf die Normalskale zu beziehen. Trotzdem mag hier kurz auf die drei Arten der Meßinstrumente eingegangen werden.

§ 41. Quecksilberthermometer¹⁾. Setzt man voraus, daß das Thermometer eine gleichmäßige, fehlerfreie Teilung trägt, so sind an die Ablesungen des Thermometers die folgenden Korrekturen anzubringen, um wahre Temperaturen zu erhalten:

a) Reduktion auf zylindrisches Kaliber der Thermometerkapillare. Verschieden lange Quecksilberfäden werden durch die Kapillare verschoben und ihre Länge an der Skale des Thermometers bestimmt. Die für die einzelnen Hauptstriche nach der erweiterten Hansenschen Methode (§ 26) berechneten Kaliberkorrekturen werden graphisch aufgetragen und daraus durch Interpolation eine Tafel der Kaliberkorrektur aufgestellt.

b) Reduktion auf einen äußeren Druck von 760 mm. Man setzt das Thermometer nach Einschluß in eine Röhre abwechselnd dem Atmosphären- und einem Unterdruck aus und be-

¹⁾ Vgl. Scheel, Vereinsblatt der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik (Beiblatt zur Zeitschr. f. Instrumentenk.) 1897, Heft 12, 13, 14.

obachtet die Standänderung für die Größe des Unterdruckes. Hieraus berechnet sich die Korrektur für 1 mm Druckänderung; sie ist für 1 mm von der Größenordnung von $0,0001^{\circ}$, also im allgemeinen nur klein.

c) Reduktion auf horizontale Lage. Zur Ermittlung dieser Korrektur, welche gleichfalls von der Größenordnung $0,0001^{\circ}$ ist, deren Gesamtbetrag bei langer drückender Säule aber bis zu $0,1^{\circ}$ ansteigen kann, wird die Standänderung des Thermometers beobachtet, wenn man es aus der horizontalen in die vertikale Lage und umgekehrt überführt.

d) Korrektur wegen der von 0 abweichenden Lage des Eispunktes. Nach der von Pernet aufgestellten Definition gehört zu jeder Temperatur derjenige Eispunkt, welcher unmittelbar nach der Temperaturbeobachtung bestimmt wird. Am zweckmäßigsten ermittelt man denselben in feingeschabtem Eise, welches mit destilliertem Wasser zu einem Brei gemischt ist; diese breiige Konsistenz hat den Vorzug, daß wärmere Luftströmungen das Thermometergefäß nicht umspülen können und daß durch die alle Zwischenräume erfüllende Wassersäule alle Daten zur Berechnung des äußeren Druckes in exakter Weise gegeben sind.

Ist die Möglichkeit ausgeschlossen, nach jeder Temperaturmessung den zugehörigen Eispunkt zu bestimmen, so genügt es, aus einigen Beobachtungen desselben die übrigen mit Hilfe der folgenden Tabellen zu interpolieren, welche für die gebräuchlichsten Glassorten, Jenaer Glas 16^{III} und 59^{III}, die infolge der thermischen Nachwirkung mit jeder Temperaturerhöhung verbundene Eispunktserniedrigung (Depression) darstellen. Indessen ist zu beachten, daß diese Tabellen beim Übergang von höheren

Grad	16 ^{III} Grad	59 ^{III} Grad	Grad	16 ^{III} Grad	59 ^{III} Grad
0	0,000	0,000	50	0,040	0,021
10	0,007	0,005	60	0,050	0,024
20	0,014	0,009	70	0,061	0,027
30	0,022	0,014	80	0,072	0,030
40	0,031	0,017	90	0,083	0,033
50	0,040	0,021	100	0,096	0,035

zu niederen Temperaturen nicht ohne weiteres benutzbar sind, weil ein Thermometer die bei höherer Temperatur erhaltene Depression nur langsam verliert.

Für gewöhnliches Thüringer Glas ist die Depression erheblich größer, z. B. für 100° meist mehr als 0,5°. Oberhalb 100° wächst die Depression auch für die Gläser 16^{III} und 59^{III} beträchtlich.

e) Gradwertkorrektion. Die Gradwertkorrektion ist der hundertste Teil der Korrektion des Fundamentalabstandes, d. h. des Wertes, um welchen der aus Siedepunkt und Eispunkt als Differenz berechnete Abstand zu verbessern ist, um 100° zu erhalten. Zur Ermittlung des Fundamentalabstandes beobachtet man den Stand des Thermometers im Wasserdampf und bestimmt unmittelbar darauf den Eispunkt. Dieser Wert ist noch wegen des von 760 mm abweichenden Luftdruckes mit Hilfe von Tafeln ¹⁾ zu verbessern.

f) Reduktion auf die Skale des Wasserstoffthermometers. Hierzu dienen Tabellen, deren Werte auf Grund besonderer Untersuchungen ermittelt sind. Für die beiden Jenaer

Korrektionen auf das Gasthermometer ²⁾.

Temp. Grad	Auf Wasserstoff		Temp. Grad	Auf Luft		Temp. Grad	Auf Luft 16 ^{III}
	16 ^{III}	59 ^{III}		16 ^{III}	59 ^{III}		
0	0,000	0,000	100	0,00	0,00	200	— 0,04
10	— 0,056	— 0,024	110	+ 0,03	0,00	210	— 0,11
20	— 0,093	— 0,035	120	+ 0,05	— 0,02	220	— 0,21
30	— 0,113	— 0,038	130	+ 0,07	— 0,04	230	— 0,33
40	— 0,120	— 0,034	140	+ 0,09	— 0,08	240	— 0,47
50	— 0,116	— 0,026	150	+ 0,10	— 0,13	250	— 0,63
60	— 0,103	— 0,016	160	+ 0,10	— 0,19	260	— 0,83
70	— 0,083	— 0,008	170	+ 0,08	— 0,28	270	— 1,05
80	— 0,058	— 0,001	180	+ 0,06	— 0,39	280	— 1,30
90	— 0,030	+ 0,002	190	+ 0,02	— 0,52	290	— 1,59
100	0,000	0,00	200	— 0,04	— 0,67	300	— 1,91

¹⁾ H. F. Wiebe, Tafeln über die Spannkraft des Wasserdampfes zwischen 76° und 101,5°. Zweite Ausgabe. Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn (1903).

²⁾ Vgl. hierzu Karl Scheel, Wied. Ann. 58, 168 (1896); F. Grütz-macher, ebenda 68, 769 (1899).

Gläser sind diese Korrekturen fast durchweg negativ, d. h. die in der Skale des Wasserstoffthermometers gemessene Temperatur ist in diesem Intervall im allgemeinen niedriger, als die in der Skale des Quecksilberthermometers gemessene.

Die vorstehenden Zahlen gelten für Stabthermometer; für Einschlußthermometer mit gewöhnlicher Milchglasskale, die sich nach oben frei ausdehnt, entstehen ferner aus der ungleichen Ausdehnung der Gläser folgende Korrekturen ¹⁾:

	0°	50°	100°	150°	200°	250°	300°
Für Glas 16 ^{mm} . .	0,000	— 0,003	0,000	+ 0,01	+ 0,02	+ 0,04	+ 0,07
„ „ 59 ^{mm} . .	0,000	— 0,008	0,000	+ 0,02	+ 0,07	+ 0,13	+ 0,21

Unterhalb 0° und oberhalb 300° wird man Quecksilberthermometer für metronomische Zwecke in der Regel nicht benutzen; unterhalb 0° gefriert das Quecksilber sehr bald, oberhalb 300° beginnt es abzudestillieren, was man nur dadurch verhindern kann, daß man die Thermometer oberhalb des Quecksilberfadens mit Kohlensäure oder einem anderen indifferenten Gase unter Druck füllt.

Vielfach wird es nötig, die Ablesungen an Quecksilberthermometern noch wegen des herausragenden Fadens zu korrigieren. In diese Korrektur geht außer der Länge des Fadens noch die lineare Ausdehnung des Glases (8 bzw. $6 \cdot 10^{-6}$) und die relative kubische Ausdehnung von Quecksilber und Glas ($181 - 24 = 157$ bzw. $181 - 18 = 163 \cdot 10^{-6}$) ein. Diese Korrektur ist aber selten genau angebar.

§ 42. Platinthermometer. Zur Herstellung des Platinthermometers verwendet man sehr reines Platin, wie es von der Firma W. C. Heraeus in Hanau erhältlich ist. Die Platindrähte von etwa 0,2 mm Durchmesser werden auf Glimmerkreuze aufgewickelt und in der endgültigen Lage nochmal elektrisch ausgeglüht. An die Enden des Platindrahtes setzen sich je zwei angelötete oder angeschweißte Kupferdrähte, oder, wenn das Thermometer in hoher Temperatur benutzt werden soll, je zwei Silberdrähte an, die nach außen führen. Alle Lötstellen sollen zur

¹⁾ H. F. Wiebe und G. Moeller, Zeitschr. f. Instrumentenk. 28, 139 (1908).

Vermeidung störender Thermokräfte möglichst nahe beieinander und in gleicher Höhe liegen. Den Gesamtwiderstand des Platindrahtes wird man je nach den auszuführenden Messungen verschieden wählen; für viele Zwecke ist 10 Ohm eine passende Größe.

Der Widerstand des Platindrahtes wird durch Vergleichung mit einem Normalwiderstand nach der Kompensationsmethode bestimmt. Der Normalwiderstand braucht dabei selbst nicht gerade genau bekannt zu sein; er soll aber aus einem Material gefertigt sein, welches seinen Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur nur wenig und in bekannter Weise ändert. Bezeichnen w_t , w_0 und w_{100} die Widerstände des Platindrahtes bei t^0 , 0^0 und 100^0 , so bezeichnet man

$$t_p = 100 \cdot \frac{w_t - w_0}{w_{100} - w_0}$$

nach dem Vorgang von Callendar als Platintemperatur.

Hieraus berechnet sich die richtige Temperatur als

$$t = t_p - \delta \cdot \frac{t}{100} \cdot \frac{100 - t}{100}.$$

Nach den Untersuchungen von Chappuis und Harker stimmt das so berechnete t innerhalb sehr enger Grenzen zwischen -20^0 und $+440^0$ mit der thermodynamischen Skale überein.

Der Zahlenfaktor δ hat bei reinem Platin einen Wert wenig über 1,5; bei unreinem Platin kann δ Werte bis 1,6 annehmen. Man bestimmt den Zahlenfaktor δ durch Prüfung des Platinthermometers im Dampfe des siedenden Schwefels oder des siedenden Naphtalins, für welche unter dem Druck p mm die Siedepunkte in der thermodynamischen Skale sind ¹⁾:

Schwefel	445,0	+	0,0912	($p - 760$)	—	0,000 042	($p - 760$) ²
Naphtalin	218,04	+	0,0585	($p - 760$)	—	0,000 025	($p - 760$) ²

Unterhalb 0^0 versagt die Formel bald. Man hat sich dort dadurch geholfen, daß man den Widerstand des Platins bei 0^0 , sowie den Siedepunkt der flüssigen Luft und den Sublimationspunkt der festen Kohlensäure an das Gasthermometer anschloß und die Zwischenpunkte durch eine durch diese drei Punkte be-

¹⁾ Vgl. L. Holborn und F. Henning, Ann. d. Phys. (4) 26, 865 bis 867 (1908).

stimmte Interpolationsformel erreichte. Dies Verfahren erscheint nicht einwandfrei, doch fehlen zurzeit noch die Unterlagen für eine andere Berechnungsweise.

§ 43. **Thermoelement.** Der Gebrauch des Thermoelementes zur Messung der Temperatur beschränkt sich wesentlich auf hohe Temperaturen. Zwischen 0° und 100° wird nach Kohlrausch die thermoelektrische Kraft eines Metallpaares auf + 1° in Mikrovolt nahe als Differenz aus folgenden Zahlen gefunden:

Bi 0	} . . . 61	Au, Messing . . . 71
Konstantan . . . 30		Cu, Ag 74
Patentnickel . . . 38		Fe 83
Ni 51		Sb 100

Besser, als sich hierauf zu verlassen, ist eine Eichung des Elementes durch eine oder mehrere bekannte Temperaturdifferenzen.

Für hohe Temperaturen benutzt man fast ausschließlich Elemente aus Platin gegen 10proz. Platinrhodium. Für die von W. C. Heraeus in Hanau gelieferten Elemente ist, wenn eine Lötstelle auf 0° die andere auf t° sich befindet, die elektromotorische Kraft E in Mikrovolt:

t	E	t	E	t	E	t	E
100	0,6	500	4,13	900	8,84	1300	13,0
200	1,4	600	5,14	1000	9,47	1400	14,1
300	2,25	700	6,17	1100	10,62	1500	15,3
400	3,17	800	7,25	1200	11,8		

§ 44. **Messung der Wärmeausdehnung auf dem Komparator.** Zur Messung der Wärmeausdehnung bedient man sich in erster Linie des Transversalkomparators. Das Prinzip der Messung ist ein sehr einfaches. Man wählt einen dem zu untersuchenden Körper sehr nahe gleich langen Maßstab aus und bringt diesen auf einen Tisch des Komparators, während der zu untersuchende Körper den anderen Tisch einnimmt. Ist die Wärmeausdehnung des Maßstabes bereits bekannt, so kann man den Beobachtungsraum auf verschiedene Temperaturen bringen, beide Maßkörper bei diesen verschiedenen Temperaturen ver-

gleichen und aus den Vergleichsdaten mit Berücksichtigung der Ausdehnung des einen Körpers die des anderen berechnen.

Diese einfache Methode ist nur innerhalb sehr enger Grenzen anwendbar, weil der Beobachter dabei den Temperaturwechseln mit ausgesetzt werden muß. Aber auch sachlich gibt die Methode zu schweren Bedenken Anlaß. Diese Bedenken beruhen darin, daß es ganz unmöglich erscheint, einen Maßkörper zu veranlassen, die Temperatur der umgebenden Zimmerluft anzunehmen. Auch wenn man ein Thermometer in noch so enge Berührung mit dem Maßkörper bringt, wird man niemals sicher sein, seine Temperatur auf diese Weise auch wirklich zu ermitteln.

Als einzige Möglichkeit, diese Schwierigkeit zu beheben, bietet sich die Einbettung der Maßkörper in Bäder konstanter Temperatur. Man hat dabei ferner den Vorteil, von der Beschränkung frei zu werden, die Ausdehnung des einen Maßkörpers bereits zu kennen; es wird vielmehr zweckmäßig sein, den einen Maßkörper dauernd auf einer konstanten Temperatur, etwa Zimmertemperatur oder der Temperatur 0° , zu halten und die Temperatur des unbekanntes Maßkörpers zu ändern.

Als Bäder konstanter Temperatur kann man Flüssigkeits- und Luftbäder verwenden; von ihnen soll weiter unten (§ 48) die Rede sein.

§ 45. Beispiel für eine Ausdehnungsbestimmung. Als Beispiel für die Bestimmung der Ausdehnung eines festen Körpers auf dem Komparator mögen Messungen an einem nahe 1 m langen Glasstabe betrachtet werden ¹⁾. Der Glasstab war zu diesem Zwecke auf beiden Seiten bis nahe zur Mitte, also bis zur neutralen Ebene, abgeschliffen und beiderseits mit einer kurzen Teilung von fünf Strichen in 0,5 mm Abstand versehen; die Mitte der Striche wurde durch einen Längsstrich durchschnitten und dabei Sorge getragen, daß die Längsstriche an den beiden Enden Teile derselben Geraden waren. Die Pointierung der Teilungsstriche mit den Okularmikrometern erfolgte stets in der Nähe dieser Längsstriche.

Die Messungen wurden auf einem einfachen Komparator mit feststehenden Tischen und beweglichen Mikroskopen ausgeführt. — Die Ausdehnung des Glasstabes (16) aus dem Jenaer

¹⁾ Vgl. Wiss. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt 2, 81 ff. (1895).

Glas 16^{III} sollte zwischen 0° und 100° ermittelt werden und zwar verglich man zu diesem Zwecke die Länge des auf nahe 0, 25, 50, 75, 100° gebrachten Glasstabes mit der fast konstanten Länge eines Vergleichsglasstabes (T) aus dem französischen Thermometerglas „verre dur“, der stets nahe bei 25° gehalten wurde. Beide Stäbe befanden sich, auf Quecksilber schwimmend, in tiefen Rinnen zweier Nickeltröge, welche durch hindurchströmendes gut temperiertes Wasser auf konstanter Temperatur gehalten wurden. Nach außen waren die Kästen durch Umhüllungen gegen Wärmeabgabe gut geschützt. Die Temperatur 100° wurde mit durch die Kästen geleitetem Wasserdampf erzielt. Zur Messung der Temperatur dienten Quecksilberthermometer, welche in den Rinnen neben den Glasstäben ebenfalls auf dem Quecksilber schwammen. Die Komparatormessungen wurden, symmetrisch zur Mitte angeordnet, gleichzeitig von zwei Beobachtern ausgeführt, welche systematisch ihre Plätze wechselten.

Nummer der Ver- gleichung	$t_{(16)}$	$t_{(T)}$	$(16) - (T)$	$(16) - (T)$ reduziert auf (T) bei 24,84°	$B - R$
	Grad	Grad	μ	μ	μ
1	0,26	24,96	— 185,6	— 184,6	+ 0,7
2	0,20	25,00	— 185,9	— 184,6	+ 1,1
3	24,72	24,96	+ 2,7	+ 3,7	— 1,4
4	24,78	24,97	+ 2,2	+ 3,2	— 2,4
5	49,68	24,84	+ 206,6	+ 206,6	+ 2,4
6	49,90	24,70	+ 208,0	+ 206,9	+ 1,0
7	74,50	24,84	+ 412,5	+ 412,5	+ 5,6
8	74,54	24,84	+ 410,4	+ 410,4	+ 3,2
9	100,77	24,77	+ 625,9	+ 625,3	— 1,3
10	100,83	24,75	+ 627,4	+ 626,7	— 0,5
11	101,16	24,66	+ 632,3	+ 630,9	+ 0,9
12	101,12	24,81	+ 628,3	+ 628,1	— 1,5
13	74,19	24,79	+ 402,0	+ 401,6	— 2,7
14	74,14	24,79	+ 403,4	+ 403,0	— 0,9
15	49,52	24,76	+ 200,9	+ 200,3	— 2,6
16	49,72	24,75	+ 204,6	+ 203,9	— 0,6
17	24,60	24,88	+ 2,3	+ 2,6	— 1,5
18	24,56	24,81	+ 4,0	+ 3,8	— 0,1
19	0,82	24,93	— 181,1	— 180,4	+ 0,6
20	0,80	24,91	— 181,6	— 181,0	+ 0,1

In der vorstehenden Tabelle sind die Schlußresultate der einzelnen Vergleichen aufgeführt. Die Tabelle enthält in der zweiten und dritten Spalte die Temperaturen $t_{(16)}$ und $t_{(T)}$ in der Skale des Thermometers aus dem Jenaer Glas 16^m, in der vierten Spalte das Resultat der komparatorischen Vergleichung. Die folgende Spalte gibt das Resultat der Vergleichung auf die mittlere Temperatur des Vergleichsstabes während der ganzen Reihe reduziert; bei den geringen Schwankungen, welche diese Temperatur zeigte, genügte zur Berechnung der Reduktionszahlen eine ganz angenäherte Kenntnis des Ausdehnungskoeffizienten.

Endlich gibt die letzte Spalte die übrig bleibenden Fehler der Zahlen der vorletzten Spalte an, wenn die gemessenen Ausdehnungswerte durch die Formel

$$(16) - (T)_{24,34} = (-187,34 + 7,6868 \cdot t + 0,00387 \cdot t^2) \mu$$

dargestellt werden. Die Formel ist nach der Methode der kleinsten Quadrate gefunden; die Rechnung wurde aber nicht direkt, sondern nach einem Annäherungsverfahren in der Weise geführt, daß man die Beobachtungen auf die vollen Temperaturen 0, 25, 50, 75, 100^o mit den angenähert bekannten, wahren Ausdehnungskoeffizienten bei jeder dieser Temperaturen reduzierte, die gewonnenen Werte ausglich, die übrig bleibenden Fehler streng nach der gefundenen Formel berechnete und dann aus ihnen die äußerst kleine Verbesserung der gefundenen Formel berechnete; bei dieser letzten Rechnung konnte man ebenfalls die Fehler als für die vollen Temperaturen geltend annehmen.

Auf Grund der übrigbleibenden Fehler kann man die Genauigkeit des Resultates einer einzelnen Vergleichung auf wenigstens $\pm 1 \mu$ bewerten.

Aus der mitgeteilten Ausdehnungsformel läßt sich, indem man den Wert $(16)_{00}$ bildet und subtrahiert, der Vergleichsstab eliminieren und man erhält:

$$(16) = (16)_{00} + (7,6868 \cdot t + 0,00387 \cdot t^2) \mu.$$

Berücksichtigt man, daß durch eine besondere Messung

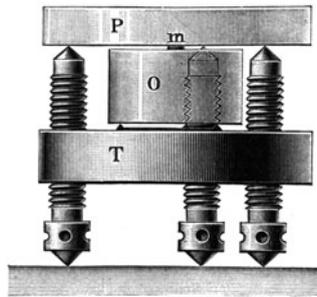
$$(16)_{00} = 1 \text{ m} - 260 \mu = 999740 \mu$$

gefunden wurde, so ergibt sich schließlich:

$$(16) = (16)_{00} \{1 + 7,689 \cdot 10^{-6} \cdot t + 0,00387 \cdot 10^{-6} \cdot t^2\}.$$

§ 46. Messung der Wärmeausdehnung nach der Interferenzmethode. Für die Benutzung der Interferenzmethoden zur Messung der Wärmeausdehnung ist die klassische Methode von Fizeau vorbildlich geworden. Der Fizeausche Apparat ist mit einigen Abänderungen in Fig. 14 dargestellt. Eine Grundplatte T aus Stahl mit ebener polierter Fläche ist von drei gleich langen Stahlschrauben durchsetzt; auf den Spitzen dieser Schrauben ruht eine planparallele Glasplatte P (früher eine schwach konvexe Linse). Man justiert die Vorrichtung so, daß zwischen der unteren Ebene von P und der Ebene von T ein schwacher Keilwinkel entsteht; bei Beleuchtung mit monochromatischem Licht kann man zwischen beiden Ebenen Fizeausche Interferenzstreifen beobachten. Um die Lage dieser Interferenzstreifen zu fixieren, war die Deckplatte oder Decklinse früher meist mit einem Netze von Punkten bedeckt, zu welchen man durch mikrometrische Ausmessung die Interferenzstreifen relativ festlegte. Bei der neueren Anordnung befindet sich an der Unterseite der Deckplatte nach dem Vorgange von Pulfrich bei m ein kleines Silberscheibchen als Marke.

Fig. 14.

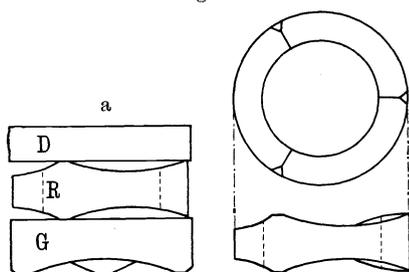


— Jede infolge von Temperaturveränderungen eintretende Längenänderung der Schrauben verursacht eine Änderung der Entfernung von T und P , d. h. der Dicke der zwischen T und P befindlichen „Luftplatte“ und damit eine Verschiebung des Interferenzstreifensystems gegen die Marke in solchem Betrage, daß jeder Abstandsänderung um eine halbe Wellenlänge des benutzten Lichtes die Verschiebung des Streifensystems um eine Streifenbreite entspricht. Mißt man umgekehrt die Streifenverschiebung, so kann man daraus die Dickenänderung der Luftplatte berechnen. Hat man aus der Anzahl der durchgewanderten Streifen einmal die Ausdehnung der Schrauben bei einer gemessenen Temperaturdifferenz bestimmt, so ist es ein leichtes, die Ausdehnung anderer Körper O , welche inmitten der Stahlschrauben auf dem Stahlstückchen aufgebaut, oberflächlich plan geschliffen und bis zur Spiegelung poliert sind, relativ zum Stahl zu messen und

daraus ihre absolute Ausdehnung abzuleiten. Bei diesen relativen Ausdehnungen wird die Luftplatte durch die Oberfläche des zu untersuchenden Körpers *O* einerseits, andererseits wieder durch die Unterfläche von *P* gebildet. Durch Hinein- oder Herausdrehen der Stahlschrauben kann man dabei die Luftplatte so dünn wie möglich machen, was zur Schärfe der Interferenzstreifen wesentlich beiträgt.

Der Fizeausche Apparat ist von Pulfrich erheblich vervollkommenet worden. Er wählte als einheitliches Material Bergkristall, aus dem (Fig. 15 a) eine Boden- (*G*) und eine Deckplatte (*D*) als Begrenzungen der Luftplatte senkrecht zur Achse geschliffen wurden. Die Dicke der Luftplatte wurde durch einen zwischen Boden- und Deckplatte gebrachten Ring *R*, ebenfalls aus Berg-

Fig. 15. b



kristall und senkrecht zur Achse geschliffen, gegeben. Der Quarzring, welcher in Fig. 15 b besonders abgebildet ist, war in der Zeißschen Werkstätte in Jena in der Weise hergestellt, daß zunächst ein Vollzylinder senkrecht zur Achse mit ebenen Flächen versehen und dann erst ein

Kern ausgebohrt wurde. Der obere und untere Rand des Hohlzylinders wurden dann noch in der in der Figur wiedergegebenen Weise ausgearbeitet, so daß nur beiderseits drei symmetrisch angeordnete Auflageflächen übrig blieben, welchen die Form kleiner Dreiecke gegeben ist. — Der Ring ist, was früher durch die verschieden weit durchgedrehten Schrauben erreicht wurde, schwach keilförmig geschliffen; auch die Deckplatte ist schwach keilförmig, um die Reflexionsbilder der unteren und oberen Fläche zu trennen und das von der oberen Fläche gelieferte Bild aus dem Gesichtsfelde zu entfernen.

Der Quarzring, dessen Höhe meist zwischen 10 und 15 mm beträgt, tritt hier also an die Stelle der in ihrer Höhe verschieden einregulierbaren Schrauben; es ist also jetzt nicht mehr möglich, bei relativen Messungen die Höhe der Schrauben nach der Höhe des Versuchskörpers einzustellen; man muß vielmehr diese der

konstanten Höhe des Ringes anpassen. Hierin liegt scheinbar eine Unbequemlichkeit, die aber, verglichen mit den Vorteilen des Bergkristalls, nicht schwer wiegt. — An Stelle der Ausdehnung der Schrauben ist hier die Ausdehnung des Quarzringes absolut zu bestimmen.

In neuerer Zeit hat die Firma Carl Zeiß in Jena auch aus Bodenplatte, Ring und Deckplatte bestehende Fizeausche Apparate anstatt aus Bergkristall aus dem nur eine sehr geringe Ausdehnung besitzenden Quarzglas in den Handel gebracht.

Die Verschiebung des Interferenzstreifensystems ist außer, wie schon gesagt, von der geometrischen Änderung des von den spiegelnden Flächen eingeschlossenen Gasraumes, der Luftplatte, auch von dessen optischer Beschaffenheit abhängig, welche sich mit der Temperatur und dem Drucke ändert. Bezeichnet man die Brechungsexponenten der Luft in den beiden Zuständen mit n_2 und n_1 , so tritt aus diesem Anlaß zu der gemessenen Streifenverschiebung eine Korrektion von dem absoluten Betrage

$k = \frac{2h}{\lambda}(n_2 - n_1)$, wo h die Dicke der Luftschicht, also die Höhe des Quarzringes, λ die Wellenlänge bedeutet. Bei relativen Messungen mit dünner Luftplatte ist der Wert dieser Korrektion klein, so daß sich n_2 und n_1 mit genügender Genauigkeit aus dem sogenannten Gesetze vom konstanten Refraktionsvermögen $\frac{n-1}{d} = \text{const}$ ableiten lassen, wo d die mit Hilfe des Mariotte-

Gay-Lussacschen Gesetzes zu berechnende Dichte der Luft ist. Der Brechungsexponent der Luft ¹⁾ bei 0° und 760 mm Druck ist für die Natriumlinie, $\lambda = 0,589 \mu$, $n = 1,000\ 292$.

Für die Bestimmung der absoluten Ausdehnung des Quarzringes wird die Ermittlung der Korrektion auf diese Weise unsicher. Man umgeht sie deshalb lieber ganz, indem man solche Beobachtungen statt in Luft im Vakuum anstellt ²⁾.

Es steht in der Regel nichts im Wege, bei Temperaturänderungen des Fizeauschen Apparates die durch die Marke im Gesichtsfeld wandernden Interferenzstreifen zu zählen, wobei man

¹⁾ Vgl. hierüber Verhandl. d. D. Phys. Ges. 9, 24 bis 36 (1907).

²⁾ Vgl. hierüber, wie über Messungen nach der Fizeauschen Methode überhaupt und über Literatur: Karl Scheel, Verhandl. d. D. Phys. Ges. 9, 3 bis 36, 718 bis 721 (1907).

die am Anfang und am Ende der Wanderung auftretenden Bruchteile möglichst mikrometrisch bestimmt. Ein solches Zählen erfordert aber unausgesetzte Beaufsichtigung des Streifen-Systems während der ganzen Versuchsdauer und führt zur vorzeitigen Ermüdung des Beobachters. Ferner treten beim direkten Zählen leicht Irrtümer auf; manchmal wird auch die Kontinuität der Streifenwanderung, etwa durch Beschlagen im Strahlengang liegender Glasflächen mit Wasserdampf, zeitweise für die Beobachtung unterbrochen. Es ist darum meist ein von Abbe¹⁾ angegebenes Verfahren, statt einer Wellenlänge deren mehrere zu benutzen, mit Vorteil verwendbar. Die Dickenänderung der Luftplatte bei der Fizeauschen Anordnung ist nämlich, wie schon oben angedeutet, gegeben durch die Anzahl m der durch das Gesichtsfeld gewanderten Streifenintervalle, deren jedes einer Dickenänderung um eine halbe Wellenlänge entspricht. Multiplizieren wir also m mit der halben Wellenlänge $\lambda/2$, so drückt das Produkt $m \cdot \lambda/2$ die Dickenänderung in metrischem Maße, etwa in $\mu = 0,001$ mm, aus, wenn auch λ in μ gegeben war. Die Größe $m \cdot \lambda/2$ ist somit unabhängig von der benutzten Wellenlänge; führt man daher die Messung in mehreren Wellenlängen gleichzeitig aus, so müssen alle so erhaltenen Produkte $m_1 \lambda_1/2$, $m_2 \lambda_2/2 \dots$ einander gleich sein.

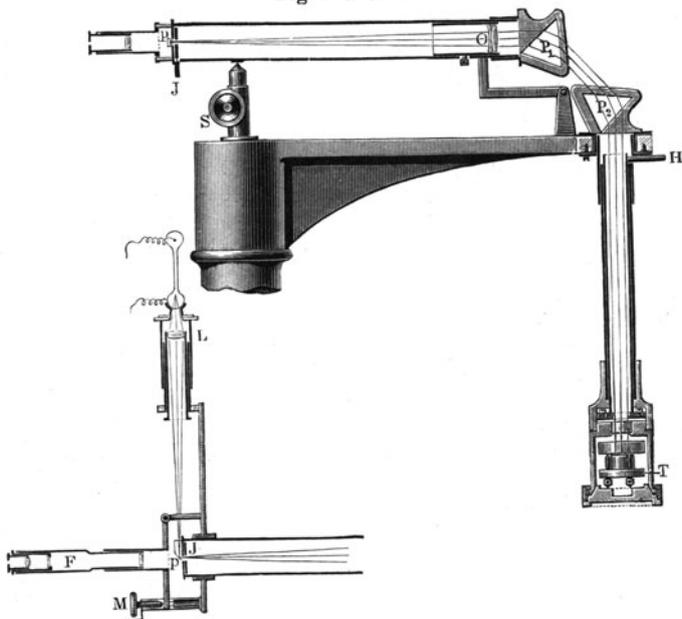
Die Zahlen m sind im allgemeinen gebrochene Zahlen, d. h. sie geben mehrere ganze Streifenintervalle und einen Bruchteil (Summe der beiden Bruchteile am Anfang und Ende; vgl. auf dieser Seite oben) derselben an. Wird der überschießende Bruchteil durch

¹⁾ Die Methode, die Anzahl der ganzen durch das Gesichtsfeld gewanderten Streifenintervalle aus den Messungen der Bruchteile in mehreren Wellenlängen rechnerisch zu erschließen, rührt von Abbe her [vgl. G. Weidmann, Wied. Ann. 38, 453 bis 484 (1889) und C. Pulfrich, Zeitschr. f. Instrumentenk. 13, 365 u. 369 (1893)]. Die Methode ist dann von neuem, ohne Nennung von Abbes Namen, von René Benoît, Journ. de phys. (3) 7, 57 bis 68 (1898), beschrieben worden. In den beiden seitdem erschienenen Spezialwerken, J. Macé de Lépinay, Franges d'interférence et leurs applications métrologiques, Paris, Gauthier-Villars (1902) (Sammlung: Scientia, Nr. 14), S. 60 bis 61, und E. Gehrcke, Die Anwendung der Interferenzen in der Spektroskopie und Metrologie, Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn (1906) (Sammlung: Die Wissenschaft, Heft 17), S. 134 bis 136, wird nur die letztgenannte Veröffentlichung zitiert, ohne der Priorität Abbes zu gedenken.

mikrometrische Messung genügend scharf bestimmt und ist außerdem die Dickenänderung der Luftplatte, was fast stets der Fall ist, in grober Annäherung bekannt, so lassen sich mit Hilfe der Bedingung der Gleichheit der Produkte $m \cdot \lambda / 2$ die ganzen durchgegangenen Streifenintervalle für jede benutzte Spektralfarbe rechnerisch erschließen.

Die Beobachtung in verschiedenen Spektralfarben wird durch eine von Pulfrich¹⁾ beschriebene Anordnung (Fig. 16 a u. b) er-

Fig. 16 a u. b.



leichtert. Das Licht einer Geißleröhre mit gerader Durchsicht gelangt durch eine Linse L in den Apparat, wird durch ein Prisma p , das vor einer Irisblende J sitzt, in das Beobachtungsröhr gelenkt, passiert die Linse O und die beiden Prismen p_1 und p_2 und gelangt so vertikal zum Fizeauschen Apparat T . Auf demselben Wege zurückkehrend, geht es durch den vom Prisma freigelassenen Teil der Irisblende zum Okular F . Mit einem in

¹⁾ C. Pulfrich, Zeitschr. f. Instrumentenk. 13, 370 ff. (1893).

F befindlichen Fadenkreuz wird durch Drehen des Okulars mit der Schraube M auf feste Marke und Interferenzstreifen eingestellt. Zur Ablesung der Stellung dient eine Teilung der Schraubentrommel M . — Die Einführung der verschiedenen Spektralfarben ins Gesichtsfeld geschieht durch Heben und Senken des Beobachtungsrohres mittels der Schraube S .

Zur Füllung der Spektralröhren benutzt man Wasserstoff, dem ein Tropfen Quecksilber zugefügt ist. Hierdurch erhält man eine Reihe von Spektralfarben. Bei größeren Gangunterschieden, wie z. B. bei der Bestimmung der absoluten Ausdehnung des Quarzringes, welche eine Interferenzfähigkeit der Linien noch über einen Gangunterschied von etwa 50 000 Wellenlängen verlangt, sind die Wasserstofflinien wegen ihrer Inhomogenität nicht mehr brauchbar; hier benutzt man deshalb besser mit Helium gefüllte Röhren, ebenfalls in Verbindung mit einem Quecksilbertropfen. Die Heliumlinien sind durchweg über große Gangdifferenzen interferenzfähig.

Für Ausdehnungsmessungen mit dem Fizeauschen Apparat sind die folgenden Linien brauchbar:

Helium	Quecksilber	Wasserstoff
$\lambda/2 = 0,3528 \mu$	$\lambda/2 = 0,3076 \mu$	$\lambda/2 = 0,3281$
0,3338	0,2890 (Mittel aus zwei Linien)	0,2431
0,2938	0,2730	—
0,2524	0,2179	—
0,2508	—	—
0,2461	—	—
0,2356	—	—
0,2236	—	—

Wie weit die Messungen in den verschiedenen Spektralfarben übereinstimmende Werte ergeben, möge aus der folgenden kleinen Tabelle (S. 77) entnommen werden, welche die Resultate der Messung der Ausdehnung eines Quarzringes von etwa 15 mm Höhe zwischen -190° und $+16^{\circ}$ darstellt.

Die Tabelle enthält in der ersten Spalte die halbe benutzte Wellenlänge, in der zweiten die beobachtete Streifenverschiebung, wobei die Anzahl der ganzen Streifen mit Hilfe der Abbeschen Methode gefunden ist, und in der dritten die durch Multiplikation

$\lambda/2$	Streifenverschiebung in $\lambda/2$	Ausdehnung in μ	$B - M$ in μ
0,3528 μ	44,311	15,633	+ 0,003
0,3076	50,746	15,609	— 0,021
0,2890	54,053	15,621	— 0,009
0,2730	57,237	15,626	— 0,004
0,2524	61,953	15,637	+ 0,007
0,2508	62,355	15,639	+ 0,009
0,2461	63,527	15,634	+ 0,004
0,2356	66,341	15,630	0,000
0,2179	71,777	15,640	+ 0,010
	Mittel:	15,630	

beider Zahlen sich ergebende Ausdehnung des Quarzringes. Die Zahlen der dritten Spalte sollten für alle Spektralfarben einen konstanten Wert ergeben; wie weit diese Forderung erfüllt ist, zeigen die Zahlen der letzten Spalte, welche die Abweichungen vom Mittel im Sinne: Beobachtung minus Mittel darstellen. Die mittlere Abweichung vom Mittel beträgt 0,007 μ , also, absolut genommen, weniger als ein Hunderttausendstel eines Millimeters, entsprechend etwa $\frac{1}{2}$ Proz. der ganzen gemessenen Größe ¹⁾.

§ 47. **Messung der Ausdehnung durch Wägung.** Die in §§ 44 und 46 skizzierten Methoden erlauben die Bestimmung der linearen Ausdehnung eines Körpers, d. h. der Ausdehnung, welche er in einer Richtung erfährt. Man kennt noch andere Methoden zur Bestimmung der Ausdehnung, welche darauf beruhen, daß man das Volumen eines Körpers bei verschiedenen

¹⁾ Es möge darauf hingewiesen werden, daß es auch möglich ist, aus einer Einstellung in mehreren Spektralfarben die absolute Dicke der Luftplatte mit hoher Genauigkeit zu ermitteln. Man denke sich hierzu von der Einstellung aus die Dicke der Luftplatte kontinuierlich bis zu Null abnehmend, so ändert sich auch die Scheibcheneinstellung kontinuierlich, bis im Grenzfall des Verschwindens der Luftplatte das Scheibchen zu allen Interferenzstreifensystemen der verschiedenen Farben die Einstellung ,0 hat. Während man bei Bestimmung der Dickenänderung die Differenz zwischen Anfangs- und Endlagen des Scheibchens in den Interferenzstreifensystemen der weiteren Rechnung zugrunde zu legen hatte, hat man also jetzt nur die Differenz der Beobachtungslage gegen ,0 zu bilden, sonst aber in gleicher Weise wie vorher zu verfahren.

Temperaturen ermittelt. Namentlich sind die hydrostatischen Wägungen für den gedachten Zweck bequem und liefern gute Resultate. Näheres über diese Methoden ist im fünften Abschnitte dieses Buches (§ 76) enthalten.

§ 48. Bäder konstanter Temperatur. Es ist schon vorher (§ 44) darauf hingewiesen worden, daß Maßstäbe nur sehr schwer die Temperatur des freien Raumes annehmen, und daß Thermometer, selbst wenn man sie in noch so innige Berührung mit dem Maßstabe bringt, doch in der Regel nicht dessen wahre Temperatur anzeigen. Vorrichtungen, wodurch man dem Maßstabe — und dasselbe gilt auch für andere, physikalischen Untersuchungen dienende Körper — eine konstante, durch Thermometer bestimmbare Temperatur sichert, nennt man Bäder.

Man kann die Bäder konstanter Temperatur in Flüssigkeits- und Luftbäder einteilen. Die ersteren bestehen meist aus Wasser oder in höherer Temperatur aus einem schwerer verdampfenden Öl, in niederer Temperatur aus einer nicht erstarrenden Flüssigkeit, wie Alkohol, Petroläther und dergleichen; in diese Bäder taucht der zu untersuchende Körper ganz unter. Die Badflüssigkeit muß, um lokale Temperaturunterschiede oder Schichtungen sicher zu vermeiden, etwa mit Benutzung eines durch einen elektrischen Motor angetriebenen Schraubenrührers gut durchgemischt werden. Luftbäder benutzen zwar auch zum Teile die ebengenannten Badflüssigkeiten; diese umspülen aber den zu untersuchenden Körper nicht direkt, sondern erst eine ihn umgebende Hülle, so daß sich der Körper selbst tatsächlich in einem Luftbade befindet.

Handelt es sich um die Herstellung und Aufrechterhaltung einer konstanten Temperatur oberhalb Zimmertemperatur, so benutzt man irgend eines der bekannten Heizmittel, Bunsenbrenner, Dämpfe siedender Substanzen, oder die elektrische Heizung. Dämpfe haben den großen Vorteil, daß sie die Temperatur automatisch regulieren, indem der Siedepunkt von der Art der Heizung gar nicht, sondern nur in geringem Maße von den Schwankungen des Barometerstandes abhängt. Zweckmäßigerweise wird man es, sowohl um Verunreinigungen der Beobachtungsräume zu vermeiden, als auch um ohne Verluste an Substanz einen kontinuierlichen Betrieb aufrecht zu erhalten, so einrichten, daß der Dampf nach Durchströmen des Bades in einer Röhrenleitung durch

Zwischenschaltung eines Rückflußkühlers dem Siedegefäß wieder zugeführt wird. Ganz besonders vorteilhaft wird die Dampfheizung, wenn man das Flüssigkeits- oder Luftbad allseitig, auch oben und unten von einem Mantel umgibt, und den Dampf durch diesen hindurchschickt. Das Bad ist dann allseitig von einem Raume konstanter Temperatur, eben dem Dampfraume, umgeben, dessen Temperatur es nach einiger Zeit sicher annimmt. Die Beobachtung kann durch möglichst enge Röhren, welche den doppelwandigen Deckel durchsetzen, ausgeführt werden. Dämpfe, welche für den vorstehend geschilderten Zweck gut brauchbar sind, sind diejenigen von Aceton (56 bis 57°), Chloroform (62°), Alkohol (78°), Wasser (100°), Naphtalin (218°), Schwefel (445°; vgl. S. 66).

Die elektrische Heizung muß von Hand mittels passender Widerstände (Glühlampenwiderstände in Hinter- und Nebeneinanderschaltung, Ruhstratsche Schieberwiderstände) einreguliert werden. Verfügt man über eine konstante Akkumulatorenbatterie als Stromquelle, so kann man recht gute Resultate erhalten.

Die elektrische Heizung kann man im Flüssigkeitsbade selbst anbringen, etwa indem man die Heizdrähte auf den Rührer aufwickelt, oder von außen wirken lassen. Für Messungen in hoher Temperatur legt man Maßstäbe am besten in ein Rohr, das man außen mit einer Heizspule umwickelt. Die Beobachtung kann wieder durch aufgesetzte Röhrchen hindurch erfolgen.

Die Heizung mit Gasflammen, die früher wohl am meisten benutzt wurde, ist für Zwecke der Erzielung konstanter Temperaturen fast ganz verlassen worden; es liegt dies daran, daß hierbei die Einschaltung eines komplizierten Temperaturregulators nötig wird, welcher bei steigender Temperatur im Bade die Gaszufuhr drosselt, bei fallender dagegen wieder frei gibt. Die Zahl der für solche Zwecke ersonnenen Vorrichtungen ist Legion; sie beruhen meist auf der Wirkung eines im Bade angeordneten Flüssigkeitsthermometers, dessen Kapillare aus dem Bade herausragt; je nach der Stellung der Flüssigkeit in der Kapillare werden verschiedene Mechanismen betätigt.

Zur Herstellung konstanter Temperaturen unterhalb Zimmer-temperatur bedarf man der Kühlmittel. Eines der bequemsten Mittel dieser Art ist Eis, welches, fein geschnitten und mit Wasser

zu einem Brei verrührt, 0° gibt. Für Temperaturen, welche zwischen 0° und Zimmertemperatur liegen, darf man Eis nicht direkt dem Bade zuführen, weil hierdurch größere Temperaturschwankungen hervorgerufen werden. Man führt besser Wasser mittels eines Schlangenrohres durch eine Eispackung und kann es, wenn die Badflüssigkeit ebenfalls Wasser ist, direkt in diese einleiten, wobei man durch einen Überlauf für konstantes Niveau im Bade sorgt; andererseits darf man das Kühlwasser durch das Bad auch wieder nur mittels eines Schlangenrohres hindurchschicken. Je nach der Stärke des Kühlstromes kann man alle Zwischentemperaturen erreichen. Will man eine Temperatur nahe an Zimmertemperatur aufrecht erhalten, so ist oft ein Kühl draht nützlich, d. h. ein Draht, der an den Boden eines mit Eis oder einem anderen Kühlmittel gefüllten Gefäßes angelötet ist und in das Bad hineinragt.

Zwischen etwa —20 und 0° verfügt man über eine Reihe von Mischungen von Salzen mit Schnee, die recht konstante Temperaturen ergeben und mit denen man das Bad umhüllt. Als solche Substanzen mögen mit den damit erreichbaren Temperaturerniedrigungen hier die folgenden genannt werden:

Kaliumnitrat KNO_3	— 2,8°
Magnesiumsulfat MgSO_4	— 4 bis — 5°
Baryumchlorid BaCl	— 7,3°
Ammoniumnitrat NH_4NH_3	— 8,5 bis — 9,5°
Ammoniumchlorid NH_4Cl	— 15,2°
Natriumchlorid NaCl	— 21°.

Noch tiefere Temperaturen liefern Gemische von fester Kohlensäure mit absolutem Alkohol oder Äther (etwa — 78°), flüssiger Sauerstoff (— 182,8°), flüssiger Stickstoff (— 195,7°) und flüssige Luft, die je nach ihrer Zusammensetzung eine zwischen — 182,8° und — 195,7° gelegene Temperatur hat; endlich flüssiger Wasserstoff (— 253°); namentlich die reinen flüssigen Gase ergeben sehr konstante Temperaturen.

Temperaturen zwischen den eben genannten, z. B. eine Temperatur — 110°, sind weniger leicht konstant zu erhalten. Um solche Temperaturen herzustellen, kombiniert man Kühlung und elektrische Heizung in der Art, daß man das Bad von außen mit einem Kühlbade von tieferer Temperatur umgibt und die abkühlende Wirkung dieses äußeren Bades durch eine Heizung im

inneren Bade teilweise wieder aufhebt. Hiermit ist natürlich ein erheblicher Substanzverlust des Kühlmittels verbunden. Man mag deshalb manchmal mit Erfolg versuchen, nicht mit einem flüssigen Gase selbst, sondern mit dem abziehenden kalten Dampfe zu kühlen.

Die Verwendung von Kühlmitteln hat insofern Übelstände im Gefolge, als alle gekühlten Körper, sobald sie mit der Außenluft in Berührung kommen, auf ihrer Oberfläche Wasserdampf kondensieren. Man kann dies durch eine Anordnung, ähnlich der folgenden, vermeiden, welche bei Beobachtungen in flüssiger Luft bzw. flüssigem Sauerstoff benutzt wurde.

Der Maßstab *P* (Fig. 17) war in ein Stahlrohr *R* von etwa 1 cm Durchmesser eingeschlossen, in dem er seiner ganzen Länge nach auflag. Das Stahlrohr selbst war in eine Blechwanne *W* gesetzt, die durch Metall- und Filzmäntel gegen Wärmeeinfluß möglichst geschützt war. Das Anvisieren des Maßstabes erfolgte durch Schornsteine, die auf das Stahlrohr seitlich aufgesetzt waren und aus dem Bade von flüssigem Sauerstoff herausragten. Auf die Schornsteine aufge kittete Glasfenster bildeten einen Abschluß gegen die feuchte Zimmerluft und verhinderten die Bildung eines Niederschlages auf den Teilungen des Maßstabes. Diese Fenster hatten eine Dicke von nur 0,1 mm, so daß die Fehler in den Ablesungen, die bei etwaiger Verziehung der Schornsteine durch sie hervorgerufen wurden, vernachlässigt werden konnten. Um ein Abspringen der Kittung und das Beschlagen der Glasflächen in-

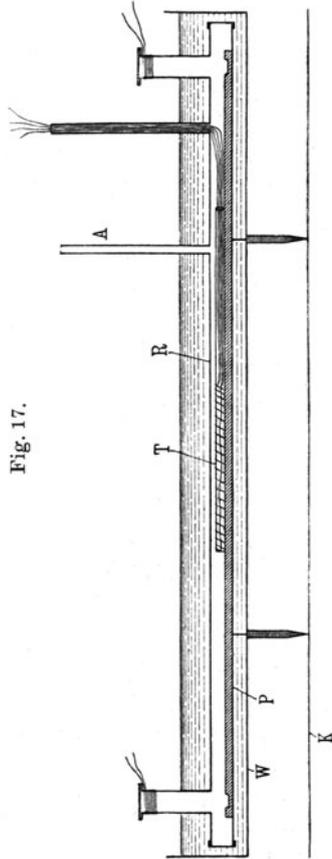


Fig. 17.

folge der nach oben fortschreitenden Abkühlung der Schornsteine zu verhindern, war kurz unter den Glasplatten auf die Schornsteine je eine Drahtspule aufgewickelt, welche elektrisch so weit erhitzt wurde, daß der Kopf des Apparates dauernd handwarm blieb. — Durch einen mit einem Trockenrohr versehenen seitlichen Ansatz *A* konnten sich Druckdifferenzen zwischen dem Innern des Stahlrohres und der Außenluft, die der dünnen Fenster wegen vermieden werden mußten, stets ausgleichen.

Alle Bäder konstanter Temperatur sollen durch Einpacken in schlechte Wärmeleiter gegen Einflüsse von außen gut geschützt werden. Häufig sind zur Wärmeisolierung Vakuummantelgefäße mit Vorteil zu verwenden.

Dritter Abschnitt.

Massenmessungen.

§ 49. Allgemeine Aufgabe. Einheit der Masse ist wie im § 10 besprochen die vom Bureau international des Poids et Mesures hergestellte Kopie des „Kilogramme des Archives“ aus Platiniridium. Aufgabe der Metronomie (§ 4) ist es, andere Massenstücke, sei es direkt, sei es durch Vermittelung schon bestimmter Stücke, indirekt an jenes Massenstück anzuschließen, d. h. festzustellen, um wieviel ein zu untersuchendes Massenstück von jenem Urkilogramm oder seinen Teilen oder seinen Vielfachen verschieden ist.

Massen lassen sich überhaupt nur nach indirekten Methoden miteinander vergleichen. Sind Massen gleichartig, d. h. bestehen sie aus denselben chemischen Körpern in gleicher homogener Zusammensetzung, so läßt sich ihre Vergleichung wohl auf eine reine Raummessung zurückführen, wovon im fünften Abschnitt die Rede sein wird. Die zweite Methode der Massenvergleichung stützt sich auf die Tatsache, daß sich zwei Massen wie ihre Gewichte verhalten, daß also zwei Massen einander gleich sind, wenn ihre Gewichte gleich sind. Das gilt aber nur, wenn man die Gewichte an derselben Stelle der Erdoberfläche betrachtet und

einen luft- und gasleeren Raum voraussetzt. Die letztere Voraussetzung ist nur mit großer Umständlichkeit zu erfüllen und ihre Realisierung hat andere Nachteile im Gefolge, worauf später (§ 66) noch näher eingegangen werden wird. Dem Einfluß des luft-erfüllten Raumes läßt sich aber bis zu einem gewissen Grade auf Grund bekannter Daten und meteorologischer Verhältnisse Rechnung tragen; im gegenwärtigen Abschnitt mag von diesen Einflüssen zunächst abgesehen werden.

§ 50. Die gleicharmige Wage¹⁾. Zur Vergleichung von Gewichten dient die gleicharmige Wage. Physikalisch gesprochen ist sie ein schwingendes Hebelsystem. Es unterscheidet sich von einem Pendel dadurch, daß dieses nur um eine Achse schwingt, während bei der Wage der für sich als Pendel schwingende Wagebalken auf zwei Endschnitten noch bewegliche Körper, die Gehänge, trägt.

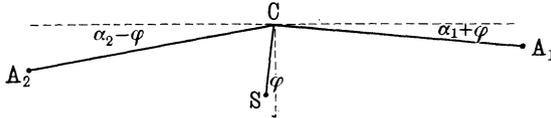
Die drei Schnitten der Wage, die Mittelschneide und die beiden Endschnitten sollen bei einer guten Wage einander parallel sein. Zur Justierung der Schnitten in solcher Lage sind diese häufig in einem System von Schrauben gelagert. Bei Wagen ersten Ranges sind die Stahlschnitten in den Wagebalken aus Messing oder Bronze eingekeilt und werden durch besondere Vorrichtungen nachträglich parallel geschliffen. Hierdurch wird ein höherer Grad der Unveränderlichkeit erreicht und ein zeitraubendes Nachjustieren der Schnitten vermieden.

Eine häufig ausgesprochene Bedingung, daß die Schnitten in einer Ebene liegen, läßt sich nicht oder doch nur für eine bestimmte Belastung erfüllen. Bei anderen Belastungen würde der Wagebalken infolge seiner elastischen Eigenschaften mehr oder weniger durchgebogen sein und dadurch die Ebene der Endschnitten oberhalb oder unterhalb der Mittelschneide liegen.

¹⁾ Über die gleicharmige Wage vgl. u. a. M. Thiesen, Zur Theorie der Wage und Wägung, Zeitschr. f. Instrumentenk. 2, 358 bis 365 (1882); 3, 81 bis 89 (1883) und Études sur la balance, Trav. et Mém. du Bureau intern. des Poids et Mes. 5, B. 40 u. XXIII S. (1886); die nachstehend gegebene Theorie der Wage lehnt sich an diese Veröffentlichungen an. Ferner sei hingewiesen auf das Buch von W. Felgentraeger, Theorie, Konstruktion und Gebrauch der feineren Hebelwage. VI u. 310 S. Leipzig und Berlin, Verlag von B. G. Teubner (1907).

Im folgenden soll daher nur eine unveränderliche parallele Lage der drei Schneiden angenommen und von der Reibung, welche die Schneiden auf ihren Lagern erfahren, abgesehen werden.

Fig. 18.



Es sei (Fig. 18):

- $l_1 = CA_1$ die Länge des rechten Wagebalkens,
- $l_2 = CA_2$ die Länge des linken Wagebalkens,
- $s = CS$ die Entfernung des Schwerpunktes von der Mittelschneide,
- φ der Winkel, welchen die Linie CS in irgend einer Lage des Wagebalkens mit der Vertikalen bildet,
- $\alpha_1 + \varphi$ der Winkel der Linie CA_1 mit der Horizontalen,
- $\alpha_2 - \varphi$ der Winkel der Linie CA_2 mit der Horizontalen,
- P_1 die im Punkte A_1 aufgehängte Masse,
- P_2 die im Punkte A_2 aufgehängte Masse,
- p die Masse des Wagebalkens,
- g die Beschleunigung der Schwere.

φ soll mit wachsender Belastung auf der rechten Seite der Wage ebenfalls wachsen; α_1 und α_2 sind die Komplemente der Winkel SCA_1 und SCA_2 und folglich von der Lage des Wagebalkens unabhängig.

Das Drehungsmoment, welches den Winkel φ zu vergrößern strebt, ist dann

$$M = l_1 P_1 g \cos (\alpha_1 + \varphi) - l_2 P_2 g \cos (\alpha_2 - \varphi) - s p g \sin \varphi . \quad 1)$$

Definiert man nun zwei Größen R und δ durch die Gleichungen:

$$R \sin \delta = l_1 P_1 \cos \alpha_1 - l_2 P_2 \cos \alpha_2 \quad \quad 2)$$

$$R \cos \delta = s p + l_1 P_1 \sin \alpha_1 + l_2 P_2 \sin \alpha_2, \quad . . \quad 3)$$

so wird

$$M = - R g \sin (\varphi - \delta) \quad \quad 4)$$

Diese Gleichung gibt also das Moment der Kraft, mit welcher der Wagebalken um die Mittelschneide gedreht wird. Das Moment wird Null und damit tritt Gleichgewicht ein, wenn $\varphi = \delta$ ist.

Aus den Gleichungen 2) und 3) folgt, daß das durch den Winkel φ definierte Gleichgewicht der Wage von den Konstanten der Wage ($l_1, l_2, \alpha_1, \alpha_2, s, p$) und den Belastungen P_1 und P_2 abhängt. Ändert man die Belastung auf der einen Seite P_1 in $P_1 - \mathcal{A}_1$, wobei \mathcal{A}_1 so gewählt sei, daß in der neuen Gleichgewichtslage der rechte Wagebalken (die Linie CA_1) horizontal wird, so ist für diese Belastung $\alpha_1 + \varphi = 0$. Da in dieser Lage, weil Gleichgewicht eingetreten ist, auch das Drehmoment verschwindet, so wird die Gleichung 1):

$$0 = l_1 (P_1 - \mathcal{A}_1) - l_2 P_2 \cos (\alpha_1 + \alpha_2) + s p \sin \alpha_1. \quad . \quad . \quad 5)$$

Andererseits erhält man durch Addition der Gleichungen 2) und 3), nachdem man sie vorher mit $\cos \alpha_1$ bzw. $\sin \alpha_1$ und mit $-\sin \alpha_1$ bzw. $\cos \alpha_1$ multipliziert hat:

$$R \cdot \sin (\delta + \alpha_1) = l_1 P_1 - l_2 P_2 \cos (\alpha_1 + \alpha_2) + s p \sin \alpha_1. \quad 6)$$

$$R \cos (\delta + \alpha_1) = s p \cos \alpha_1 + l_2 P_2 \sin (\alpha_1 + \alpha_2). \quad . \quad . \quad 7)$$

Durch Kombination der Gleichungen 5), 6) und 7) findet man

$$\frac{\mathcal{A}_1}{\tan (\delta + \alpha_1)} = \frac{s}{l_1} p \cos \alpha_1 + \frac{l_2}{l_1} P_2 \sin (\alpha_1 + \alpha_2). \quad . \quad . \quad 8)$$

Die Gleichung sagt aus, daß die Belastung, die nötig ist, um das Gleichgewicht der Wage, ausgehend von der horizontalen Lage des belasteten Wagearms, um einen beliebigen Winkel zu ändern, der Tangente dieses Winkels proportional ist.

Die Größe $e_1 = \frac{\tan (\delta + \alpha_1)}{\mathcal{A}_1}$, welche also nur von den Kon-

stanten der Wage und den Belastungen in der Anfangsstellung (P_2 und $P_1 - \mathcal{A}_1$) abhängt, nennt man die Empfindlichkeit der Wage auf der rechten Seite. Für die linke Seite der Wage läßt sich in ähnlicher Weise eine Empfindlichkeit e_2 bestimmen; doch müssen die Gleichgewichtslagen hier von der Stellung aus gerechnet werden, bei welcher der linke Balken horizontal steht. Beide Anfangsstellungen unterscheiden sich um den Winkel $\alpha_1 + \alpha_2$ und fallen nur zusammen, wenn die drei Achsen der Wage in einer geraden Linie liegen. Ist diese letztere Bedingung nahezu erfüllt, so wird man für sehr kleine Zulagen die Empfindlichkeit für beide Seiten der Wage praktisch gleichsetzen dürfen.

Da es sich bei der Wage immer nur um ganz kleine Ausschläge handelt, so kann man statt der Tangente den Winkel

selbst setzen und diesem wieder den Ausschlag auf der Skale der Wage substituieren. Die Empfindlichkeit der Wage ist also bei kleinen Ausschlägen gleich dem Ausschlag dividiert durch das Zulagegewicht, welches diesen Ausschlag hervorbrachte, oder gleich dem Ausschlag der Wage für eine gewählte Gewichtseinheit.

Thiesen hat (l. c.) auch noch den Fall der Achsenneigung theoretisch studiert und gefunden, daß der Einfluß einer schiefen Lage der Wagenachsen wesentlich erstens in einer Änderung des Gesetzes für die Empfindlichkeit der Wage, zweitens darin besteht, daß Änderungen in der Lage des Schwerpunktes der Last Änderungen in der Gleichgewichtslage und Empfindlichkeit der Wage bedingen. Dem letztgenannten Einfluß kann durch eine sorgfältige Konstruktion der Gehängearretierung sowie dadurch abgeholfen werden, daß die Schale, welche die Last trägt, gegen das Gehänge vollkommen beweglich gemacht wird. Durch richtige Wahl der Stelle, um welche die Bewegung stattfindet, kann auch die Änderung der Empfindlichkeit zum Verschwinden gebracht werden.

Wie sich aus Gleichung 8) ergibt, nimmt die Empfindlichkeit mit wachsender Masse des Wagebalkens ab. Da eine Wage, die für größere Belastungen bestimmt ist, naturgemäß einen kräftigeren Wagebalken als solche für kleinere Belastungen verlangt, so folgt daraus, daß die Genauigkeit, mit welcher man Wägungen auszuführen vermag, bei solchen Wagen abnimmt. Zur Ausrüstung eines Laboratoriums für metronomische Massenvergleichungen sind daher mehrere Wagen erforderlich; im allgemeinen wird man außer mit einer Kilogrammwaage noch mit drei weiteren Wagen auskommen, welche die Meßbereiche von 100 bis 500 g, 5 bis 100 g und unterhalb 5 g umfassen. Mit allen Wagen muß man in der Lage sein, Gaußische Wägungen (§ 54) mit Vertauschung der Gewichte von links nach rechts vorzunehmen. Ein Öffnen des Wagekastens bedingt hierbei wegen der Veränderung der Wärmeeinflüsse meist erhebliche Störungen, die, da sie prozentisch in das Resultat eingehen, um so weniger ins Gewicht fallen, je kleiner die zu vergleichenden Massen sind, die aber bei größeren Massen, z. B. bei der Vergleichung von Kilogrammen, die Genauigkeitsgrenze der Messungen ganz erheblich herabdrücken. Will man also die höchste Präzision erreichen,

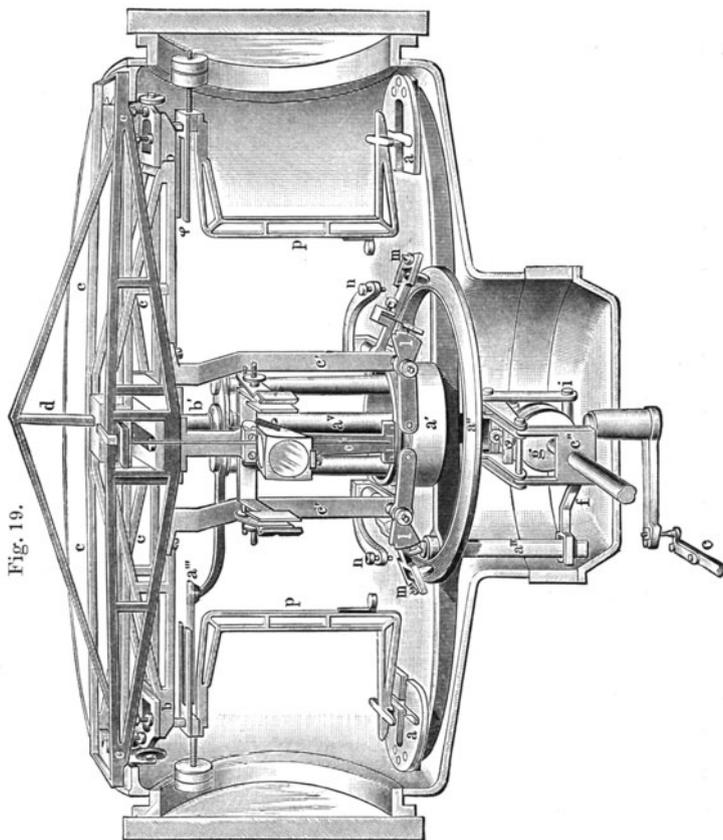
so muß die Wage — wenigstens bei größeren Belastungen — die Vertauschung der Gewichtsstücke, das Auf- und Absetzen von Zusatzgewichten (Reitern¹⁾) ohne Öffnen des Wagekastens während der Wägung gestatten.

Besondere Sorgfalt möge bei der Wahl des Platzes für die Wage walten. Daß die Wage nach Möglichkeit erschütterungsfrei aufgestellt werde, erscheint selbstverständlich. Man möge sie aber auch sehr gut vor Wärmestrahlung schützen. Mit einer guten Wage ist bei Kilogrammvergleichen unschwer eine Genauigkeit von $\pm 0,01$ mg, also $\pm 10^{-8}$ des Wertes, zu erreichen. In gleichem Maße müßte auch die Unveränderlichkeit der Länge des Wagebalkens während der Wägung gewahrt sein; das bedeutet aber bei Wagebalken aus Messing eine Temperaturkonstanz von $\pm 0,0005^\circ$. Ganz wird man dieses Ziel wohl nur in Ausnahmefällen erreichen, aber man kann ihm doch recht nahe kommen. Kleinere Temperaturstörungen kann man ebenso wie andere unkontrollierbare Einflüsse als proportional der Zeit verlaufend annehmen; man soll sie durch symmetrische Anordnung der Wägung eliminieren.

Die Frage, ob sich lang- oder kurzarmige Wagen besser zu metronomischen Untersuchungen eignen, ist wohl endgültig zugunsten der letzteren entschieden. Einerseits lassen sie sich leichter vor den oben genannten Störungen des Temperaturgleichgewichtes schützen als die langarmigen, andererseits lassen sich aber bei ihnen auch die elastischen Durchbiegungen des Wagebalkens besser vermeiden. Demgegenüber kommt der Vorteil der ein größeres Drehmoment für eine gegebene Zulage bedingenden Hebellänge, d. h. eine auf die Skale der Wage bezogene größere Empfindlichkeit, nicht in Betracht, denn die Ablesung der Wage kann man durch Spiegelübertragung fast beliebig verfeinern.

¹⁾ Zum Aufsetzen von Reitern dient bei chemischen Wagen oft ein sog. Reiterlineal. Die Benutzung dieses Lineals ist bei Präzisionswägungen nicht zulässig, weil dadurch der Angriffspunkt des Reiters an den Wagebalken und somit das von ihm herrührende Drehmoment nicht genau genug definiert ist. Man setzt vielmehr die Reiter auf Teile der Apparatur auf, die unterhalb der Endschnitten liegen, so daß die Masse des Reiters mit ihrem ganzen Betrage der betreffenden Belastung zuzuzählen ist.

§ 51. Beispiele von Wagenkonstruktionen. Es wird Interesse bieten, hier die Beschreibung einer für feinste Präzisionsmessungen gebauten Wage, nämlich derjenigen Kilogrammwaage wiederzugeben, welche in erster Linie im internationalen Maß- und Gewichtsbureau zum Anschluß der nationalen an die inter-



nationalen Kilogrammprototype gedient hat¹⁾. Der Mechanismus der Wage ist in Fig. 19 abgebildet; einige Details sind in den folgenden Fig. 20 bis 23 in größerem Maßstabe ausgeführt.

¹⁾ Trav. et Mém. du Bureau international des Poids et Mes. 9 (1899); vgl. auch Zeitschr. f. Instrumentenk. 19, 312 ff. (1899).

In den Abbildungen unterscheidet man

1. die festen mit $c, c', c'', c''', \varepsilon$ bezeichneten Teile;
2. die Teile, welche zum Auslösen und Arretieren der Wage dienen und nur im vertikalen Sinne beweglich sind, bezeichnet mit $b b'$;
3. den Transporteur, welcher eine drehende, eine aufwärts und abwärts gehende Bewegung gestattet, bezeichnet mit $a, a', a'', a''', a^{IV}, a^V$;
4. den Wagebalken d und die Wagschalen p .

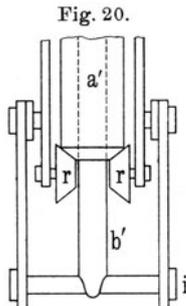
Gehen wir auf Einzelheiten ein, so ist b ein Rahmen mit vier kleinen Rollen an den Enden, welche, in horizontalen Achsen gelagert, sich gegen vier mit dem Rahmen c fest verbundene vertikale Stäbe bewegen. b ist mit einem Zylinder b' verbunden, welcher auf der an den Enden gekerbten Röhre i aufliegt.

Die Röhre i ruht auf dem Ende eines Hebels, dessen anderes Ende sich um eine in c'' gelagerte Achse dreht. Derselbe Hebel trägt ferner eine kleine Rolle, die von einem Exzenter mit horizontaler Achse (der Exzenter ist in Fig. 19 durch einen anderen Exzenter g nahezu verdeckt) getragen wird. Durch Drehen des Exzenter, was aus größerer Entfernung geschieht, hebt und senkt man die Röhre i und damit zugleich den Rahmen b .

Die einzelnen Teile des Transporteurs sind an dem Hohlzylinder a^V befestigt, welcher mit sanfter Reibung längs des Zylinders b' gleitet. Das untere Ende von a^V (a^V in Fig. 20) ist konisch und ruht auf zwei kleinen konischen Rollen $r r$ (Fig. 20), welche durch einen zweiten Hebel und Exzenter g in derselben Weise in Tätigkeit gesetzt werden, wie es vorher für die Röhre i beschrieben

ist, und dadurch ein Heben und Senken des Transporteurs gestatten. Die beiden Exzenter wirken in der Weise, daß wenn man ihre gemeinsame Achse von links nach rechts dreht, zunächst nur der Transporteur sich senkt, während der Rahmen b noch an seinem Platze bleibt. Erst während des weiteren Drehens senkt sich bei jetzt ruhendem Transporteur der Rahmen b .

Die vertikale Stahlröhre a^{IV} , die mit dem Transporteur verbunden ist, ist in einer Gabel f angeordnet, die ihrerseits um



eine vertikale Achse drehbar ist. Diese Anordnung hindert nicht die vertikalen Bewegungen des Transporteurs, der andererseits beim Drehen um die vertikale Achse mitgeführt wird, ohne daß dadurch seine vertikale Bewegungsfreiheit gehemmt wird. Denn wie oben bemerkt, wird der Transporteur nur durch den Zylinder *b'*, auf welchem er sich leicht dreht, und durch die konischen Rollen *r* getragen.

Die beschriebenen Bewegungsmechanismen dienen zur Ausführung folgender Operationen:

Fig. 21.

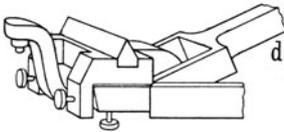
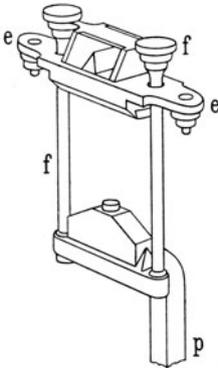


Fig. 22.



Ist der Rahmen *b* in seiner höchsten Stellung, so trägt er den Wagebalken *d* und das Stück *ee* (Fig. 22) der Wagschalen mittels acht justierbarer, verschieden eingekerbter Achatpfannen, auf welchen andere halbkugelförmige Achate aufruhn, die mit dem Wagebalken bzw. mit *ee* fest verbunden sind. Vier Achate tragen den Wagebalken, einer an jedem Ende und zwei in der Mitte. Ihre Einkerbungen sind derart angeordnet, daß der Wagebalken unverrückt, aber zwangsfrei gehalten wird. An jedem Ende des Rahmens *b* nehmen zwei weitere Achate die beiden Achate jedes Stückes *e* auf.

Senkt man den Rahmen *b*, so setzt sich zuerst die (stählerne) Mittelschneide des Wagebalkens auf eine im Rahmen *c* befestigte ebene Achatplatte auf, dann bei Fortsetzung der Bewe-

gung senkt man die ebene Achatpfanne der Stücke *ee* auf die Endschneiden des Wagebalkens (Fig. 21 und 22), womit die Auslösung der Wage beendet ist.

Die Wagschalen werden von den Teilen *ee* in folgender Weise getragen (Fig. 22): *ee* trägt zunächst eine nach oben und parallel zum Wagebalken gerichtete Schneide, auf welche sich *f* mittels dreier Achate auflegt. Im unteren Teile trägt dann *f* wiederum eine mit den Schneiden des Wagebalkens parallele Schneide und durch deren Vermittelung die Pfanne von *p*. Beide

Schneiden bilden somit ein kardanisches Gehänge, welches p relativ zu e vollste Bewegungsfreiheit sichert.

Der Teil des Schalengehanges, welcher die Gewichte trägt, hat die Form eines einfachen Kreuzes. Um die Gewichte umzusetzen, hebt man zunächst den Transporteur derart, daß die entsprechend ausgeschnittenen Teller a das Kreuz frei durchlassen und die Gewichte abheben. Dann dreht man den Transporteur um 180° bis an einen Anschlag und setzt in der neuen Lage durch Senken des Transporteurs die Gewichte wieder auf die Schalenkreuze auf.

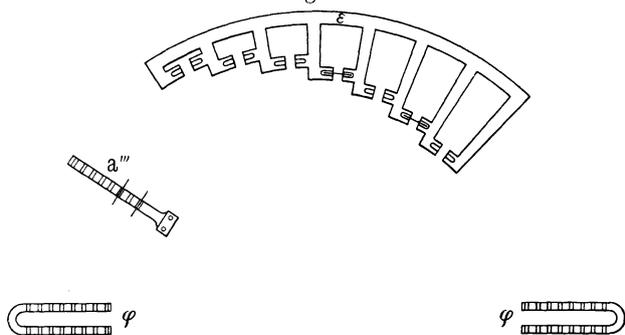
Während dieser letzten Operation tritt ein Mechanismus in Tätigkeit, der zur Erleichterung der automatischen Zentrierung der Gewichte auf dem Schalenkreuz dient. Es ist nämlich einleuchtend, daß man unter Benutzung des Transporteurs durch einfaches abwechselndes Abheben und Wiederaufsetzen des Gewichtes auf das Schalenkreuz zu einer immer vollkommeneren Zentrierung des Gewichtes gelangen kann, d. h. die Schwerpunkte des Gewichtes und des Gehanges in dieselbe Vertikale bringen kann, welche auch durch den Aufhängepunkt der Schale hindurchgeht. Diese Zentrierung wird durch die Eigenschwingungen des Schalenkreuzes sehr erschwert; der in Frage stehende Mechanismus dient nun dazu, diese Schwingungen unmittelbar vor dem Aufsetzen des Gewichtes auf das Schalenkreuz zu vernichten.

Fig. 19 zeigt den Transporteur in seiner tiefsten Stellung. Indem man ihn anhebt, läßt man die Hebel l sich um ihre in c' gelegene Achse drehen, wobei das eine Hebelende in einer Hohlkehle von a' schleift. Gleichzeitig heben sich auch die Hebel m , welche mit Hilfe kleiner Rollen auf dem Ringe a'' des Transporteurs aufliegen. Die Hebel m tragen am Ende eines seitlichen Ansatzes kleine Rollen, welche während der aufsteigenden Bewegung des Transporteurs auf einem Kreisbogen des Hebels l laufen, um sich schließlich in eine Vertiefung hineinzulegen. Wenn man jetzt den Transporteur senkt, so drehen sich die Hebel l im entgegengesetzten Sinne, wobei sie die Hebel m mitnehmen, die folglich hochgehen und den Ring a'' als Stützpunkt verlassen. Die Hebel m tragen nun an ihrem Ende abgerundete Spitzen, die in die mit den Gehängen p fest verbundenen Hohlkonen eingreifen und dadurch die Schwingungen der Schalenkreuze vernichten. Kurz bevor dann die Gewichte sich auf die Schalen aufsetzen,

stoßen die Hebel m gegen die Anschlagsschrauben n , welche die Rollen aus den Vertiefungen herausdrücken, so daß die Hebel die Gehänge freigeben und sich wieder auf a'' auflegen.

Der Transporteur kann endlich zum Aufsetzen der Hilfgewichte benutzt werden. Zu diesem Zwecke ist im Wagekasten ein Gestell ε , das Fig. 23 zeigt, angebracht, welches acht Hilfgewichte in der Form von Drähten in Einkerbungen trägt. Ein am Transporteur befestigter Arm a''' kann dann genau unter eines dieser Gewichte gebracht werden; durch Heben des Transporteurs — die Hebung darf nicht soweit gehen, daß beim nachherigen Drehen der Transporteur gegen die Schalenkreuze stößt — wird dann das Hilfgewicht von einer entsprechenden Ein-

Fig. 23.

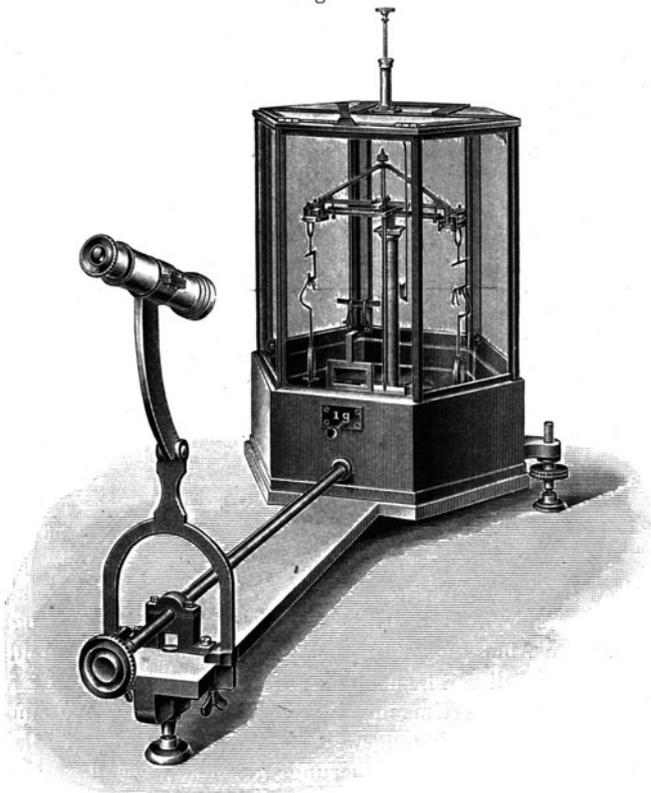


kerbung des Armes aufgenommen. Um noch ein zweites Gewicht zu erhalten, dreht man den Arm über das Gestell hinweg, senkt ihn und wiederholt die vorher beschriebene Operation noch an einer zweiten Stelle. Schließlich dreht man den Transporteur bis zum Anschlag nach rechts oder links. Der Arm befindet sich dann über einer am Gehänge sitzenden Gabel φ , auf welche sich beim Senken des Transporteurs alle vorher entnommenen Hilfgewichte absetzen. In umgekehrter Operation können nach Gebrauch die Hilfgewichte wieder auf ihre Plätze in dem Gestell zurückgebracht werden.

Da alle Manipulationen mit der Wage aus einer Entfernung von mehreren Metern vorgenommen werden, so sind alle Stellungen der Arretierungs- und der Transportiervorrichtung auf den Handgriffen genau angegeben.

Die Ablesungen der Wage geschehen nach der bekannten Poggendorffschen Methode mit Spiegel, Skale und Fernrohr. Der Spiegel ist horizontal auf dem Wagebalken befestigt; die horizontalen Lichtstrahlen passieren auf ihrem Hin- und Rückgange ein totalreflektierendes Prisma, durch welches sie in der Nähe des Spiegels in vertikale Richtung gebrochen werden.

Fig. 24.



Außer der beschriebenen Wage für 1 kg Belastung möge noch eine von P. Stückrath in Friedenau bei Berlin gebaute kurzarmige Wage für kleine Belastungen abgebildet werden (Fig. 24). Als besondere Eigentümlichkeit besitzt diese Wage ein überaus leichtes schwingendes System (nur etwa 10 g) aus

Aluminium; ferner sind die Mittel- und die Endschnitten durch je zwei Achat-Spitzen ersetzt, welche nach Lösung der Arretierung auf ebenen Achatpfannen aufsitzen. Über eine Reihe mit dieser Wage, die für 0,05 mg noch etwa zehn Skalenteile Ausschlag gibt, angestellte Beobachtungen vgl. § 58.

§ 52. Gleichgewichtslage der Wage. Gleichgewichtslage einer Wage für eine bestimmte Belastung, d. h. die Lage, bei welcher der Gesamtschwerpunkt des schwingenden Systems unter dem Unterstützungspunkt liegt, ist diejenige Lage, in welcher sich die Wage — im übrigen konstante Verhältnisse vorausgesetzt — nach langer Zeit, nach Aufhören der Schwingungen, einstellt. Diese Endlage abzuwarten ist im allgemeinen nicht möglich. Man leitet deshalb die jedesmalige Ruhelage aus einer Anzahl von Schwingungen ab, indem man die Tatsache benutzt, daß die Schwingungsweite bei aufeinanderfolgenden Schwingungen in geometrischer Progression abnimmt. Führt man für sehr kleine Schwingungsweiten die vereinfachende Annahme ein, daß die geometrische Progression mit einer arithmetischen identifiziert werden könne, so kommt man zu der für die Ableitung der Gleichgewichtslage L aus drei einanderfolgenden Ablesungen l_1, l_2, l_3 meist gebrauchten Relation:

$$L = \frac{1}{4}(l_1 + 2l_2 + l_3) = \frac{1}{2}\left(\frac{l_1 + l_3}{2} + l_2\right).$$

Thiesen¹⁾ hat die für die Ableitung der Gleichgewichtslage aus mehr als drei Umkehrpunkten gültigen Beziehungen streng abgeleitet. Er verwirft die Ableitung aus nur drei Umkehrpunkten in erster Linie deshalb, weil es hierbei häufig unmöglich wird, größere Ablesungsfehler nachträglich zu erkennen und zu verbessern. In dieser Beziehung ist die Beobachtung von vier aufeinanderfolgenden Umkehrpunkten bereits günstiger, indem die Abnahme der Schwingungsweiten zu beiden Seiten der Gleichgewichtslage in erster Annäherung gleich sein muß. Fehler werden hierbei also schon leichter erkannt. Über die Zahl vier aber noch hinauszugehen, bringt im allgemeinen keinen Gewinn mehr, weil die durch das Arretieren und Lösen der Wage in die Wägung hereingebrachten Fehler fast immer die Ablesungsfehler

¹⁾ M. Thiesen, *Études sur la balance*, S. 23 ff.

bei den Schwingungsbeobachtungen übertreffen. Er empfiehlt darum die Beobachtung von vier Umkehrpunkten $l_1 l_2 l_3 l_4$, aus denen sich die Gleichgewichtslage zu

$$L = \frac{1}{8}(l_1 + 3l_2 + 3l_3 + l_4)$$

ergibt. Für laufende Rechnungen ist diese Formel nicht sehr bequem. Bezeichnet aber M das Mittel aller vier Lesungen, also

$$M = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}{4},$$

so erhält man die bequemere Form

$$L = \frac{1}{2} \left(M + \frac{l_2 + l_3}{2} \right).$$

Vielfach noch bequemer zur Rechnung mag die Form

$$L = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{l_1 + l_3}{2} + l_2 \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{l_2 + l_4}{2} + l_3 \right) \right]$$

sein. Diese Rechnung stellt nichts anderes als das Mittel zweier Gleichgewichtslagen vor, die jede aus drei aufeinander folgenden Ablesungen $l_1 l_2 l_3$ und $l_2 l_3 l_4$ in der oben angegebenen einfachen Form berechnet sind.

§ 53. Wägung durch Substitution nach Borda. Die beiden zu vergleichenden Massen A und B werden nacheinander auf dieselbe Seite der Wage gebracht, während die andere Seite durch passende Gewichte, die nicht bekannt zu sein brauchen, äquilibriert ist. Ist etwa A die größere Masse und ist durch Belastung der anderen Wagschale oder, wie man auch sagt, durch Tarierung eine bestimmte Gleichgewichtslage der Wage erzielt, so muß man, wenn A durch B ersetzt wird, zu B ein Zulagegewicht hinzufügen, um die frühere Gleichgewichtslage wiederherzustellen. Ist dies Zulagegewicht α , so ist $A = B + \alpha$ oder $A - B = \alpha$. Im allgemeinen wird α nicht direkt gegeben sein, da die verfügbaren Zulagegewichte nicht zu seiner Darstellung ausreichen; das vorhandene nächstkleinere Zulagegewicht ε wird zu klein, das nächstgrößere $\varepsilon + d\varepsilon$ zu groß sein.

Man wendet dann, wie so häufig bei physikalischen Messungen, ein Interpolationsverfahren an. Es sei die mit A gefundene Gleichgewichtslage L_1 ; entsprechen dann den Belastungen $B + \varepsilon$ und $B + \varepsilon + d\varepsilon$ die Gleichgewichtslagen der Wage L_2 und L_3 , so ist $L_3 - L_2$ die Gleichgewichtsänderung für das Zulagegewicht $d\varepsilon$; einer Änderung der Gewichtslage um $L_1 - L_2$ würde dann

eine Belastung $\frac{L_1 - L_2}{L_3 - L_2} d\varepsilon$ entsprechen, d. h. eine Zusatzbelastung zu $B + \varepsilon$ gleich $\frac{L_1 - L_2}{L_3 - L_2} d\varepsilon$ würde dieselbe Gewichtslage der Wage hervorrufen wie A , es ist also

$$A = B + \varepsilon + \frac{L_1 - L_2}{L_3 - L_2} d\varepsilon \text{ oder } A - B = \alpha = \varepsilon + \frac{L_1 - L_2}{L_3 - L_2} d\varepsilon.$$

Die Rechnung setzt voraus, daß die Änderung der Gleichgewichtslage oder, wie man auch wohl sagt, der Ausschlag der Wage, für eine kleine Zusatzbelastung der Größe der Zusatzbelastung proportional ist. Diese Voraussetzung trifft tatsächlich nur für kleine Ausschläge zu, sie ist aber unbedenklich, weil man in der Regel $d\varepsilon$ entsprechend klein wählt.

Die Größe $\frac{L_3 - L_2}{d\varepsilon}$ nennt man nach § 50 die Empfindlichkeit der Wage; es ist das diejenige Änderung der Gleichgewichtslage, welche einer Änderung der Belastung um eine Einheit, etwa 1 mg, entspricht. Die Empfindlichkeit der Wage ist, wie aus der Gl. 8), S. 85 hervorgeht, je nach der Gesamtbelastung, welcher die Wage zu dienen hat, verschieden; sie ändert sich aber auch für ein und dieselbe Wage in Abhängigkeit von der gerade angewendeten Belastung und zwar hauptsächlich deshalb, weil zufolge geringer Durchbiegungen des Wagebalkens sich die Mittelschneide bei verschiedenen Belastungen in verschiedener Lage zu der durch die Endschnitten gelegten Ebene befindet. Auch andere Ursachen können die Empfindlichkeit zeitlich ändern; exakte Wägungen erfordern darum die Bestimmung der Empfindlichkeit während jeder Wägung.

Die Bordasche Methode der Wägung verlangt nicht die Kenntnis der Länge des Hebelarms, an welcher ein Gewicht angreift. Sie erscheint also einfacher als die im nächsten Paragraphen zu besprechende Methode. Trotzdem hat sie dieser gegenüber gewisse, hier nicht näher zu erörternde Nachteile und wird deshalb auch bei metronomischen Massenbestimmungen seltener benutzt. Ihr Hauptanwendungsgebiet sind die hydrostatischen Wägungen, von denen später (§ 73) die Rede sein soll.

§ 54. Wägung durch Vertauschen nach Gauß. Die Gaußsche Wägung beruht auf dem Prinzip des zweiarmigen

Hebels. Würde sich die Wage im Gleichgewicht befinden, während der Wagebalken gerade eine horizontale Lage einnimmt, so würden die Belastungen links L und rechts R senkrecht zum Hebelarm angreifen und somit die Beziehung bestehen

$$Lb_1 = Rb_2,$$

wo b_1 und b_2 die Hebelarme der Wage, d. h. die Entfernungen der linken bezw. der rechten Endschnitte von der Mittelschnitte bedeuten; die drei Schnitten mögen für diesen Zweck als in einer Ebene liegend angenommen werden. Wollte man aus dieser Gleichung das Verhältnis der Belastungen L und R ausrechnen, so müßte man das Verhältnis $b_1 : b_2$ kennen, was im allgemeinen nicht der Fall ist.

Nach der Gauß'schen Methode der Wägung werden nun die beiden zu vergleichenden Gewichtsstücke A und B erst in einer Lage A links, B rechts gewogen, dann vertauscht und in der Anordnung B links, A rechts wieder gewogen. Beide Male wird im allgemeinen der Fall des horizontalen Wagebalkens nicht voll erreicht sein, es wird vielmehr hierzu noch die Zufügung kleiner Zusatzgewichte nötig werden. Nennt man diese Zulagegewichte α und β , derart, daß der gewollte Zweck erreicht wird, wenn zu A rechts α , zu B rechts β hinzugefügt wird, wobei α und β negativ zu rechnen sind, wenn die Zulage links erfolgen muß, so gilt

$$\left. \begin{aligned} Ab_1 &= (B + \beta) b_2 \\ Bb_1 &= (A + \alpha) b_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 1)$$

Durch Division beider Gleichungen folgt

$$\frac{A}{B} = \frac{B + \beta}{A + \alpha}$$

und nach einem bekannten Satze der Arithmetik

$$\frac{A - B}{A + B} = \frac{B - A + \beta - \alpha}{A + B + \beta + \alpha}$$

oder $(A - B)(A + B + \beta + \alpha) = (A + B)(B - A + \beta - \alpha)$;

$(A - B)$ ist klein; sind auch α und β klein, was in der Natur der Sache liegt, da sonst die Wägung nicht ausführbar ist, so wird $(A - B)(\alpha + \beta)$ klein von zweiter Ordnung, kann also

vernachlässigt werden. Dividiert man dann noch beiderseits durch $(A + B)$, so kommt

$$\begin{aligned} A - B &= B - A + \beta - \alpha \\ \text{oder} \quad A - B &= \frac{1}{2}(\beta - \alpha). \end{aligned}$$

Im Wägungsergebnis tritt also nur die Differenz der Zulagegewichte auf; hieraus folgt, daß man α und β statt auf die horizontale Lage des Wagebalkens auf irgend eine Lage desselben, bzw. auf irgend eine Ablesung an der hier durch den Index P bezeichneten Skale der Wage beziehen kann. Es sei ferner daran erinnert, daß ebenso, wie im § 53, α und β nicht direkt durch Gewichtsstücke gegeben zu sein brauchen, sondern etwa durch Interpolation von mit verschiedenen Zulagegewichten ausgeführten Wägungen gefunden sein können. Ein Beispiel wird das erläutern: Es sei nach einer Gauß'schen Wägung gefunden

Belastung:	links	rechts	Gleichgewichtslage (Ablesung an der Skale)
	$A + 0,0432 \text{ mg}$	B	11,267 ^P
	B	$A + 0,1166 \text{ mg}$	11,259 ^P

so ist in der vorstehenden Bezeichnungsweise, wenn man α und β auf die Skalenablesung 11,267^P bezieht,

$$\beta = -0,0432 \text{ mg.}$$

Der Wert von α wird nicht allein durch $+0,1166 \text{ mg}$ gegeben; diese Größe ist vielmehr um einen kleinen Betrag zu verringern, den man aus der Differenz der beobachteten Gleichgewichtslagen

$$11,267^P - 11,259^P = 0,008^P$$

findet. Weiß man noch auf andere Weise, daß $1^P = 0,026 \text{ mg}$ ist, so ergibt sich:

$$\begin{aligned} \alpha &= +0,1166 \text{ mg} - 0,008 \times 0,026 \text{ mg} \\ &= +0,1166 \text{ mg} - 0,0002 \text{ mg} \\ &= +0,1164 \text{ mg.} \end{aligned}$$

Dann folgt:

$$A - B = \frac{1}{2}(\beta - \alpha) = -\frac{1}{2}(0,0432 + 0,1164) \text{ mg} = -0,0788 \text{ mg.}$$

In die Gleichungen 1) geht die Länge der Hebelarme der Wage b_1 und b_2 ein; indem man die beiden Gleichungen durcheinander dividiert, nimmt man an, daß das auch nach der Ver-

tauschung der Hebelarme ungeändert geblieben ist, d. h. daß sich Schneiden und Pfannen zu beiden Seiten der Wage nach der Vertauschung der Gewichte wieder in derselben Weise aufeinander gelegt haben wie vorher. Diese Voraussetzung trifft infolge der gebräuchlichen, unvollkommenen Arretierungsvorrichtungen der Wage nicht unbedingt zu. Nimmt man trotzdem in den beiden Gleichungen 1) die b_1 bzw. b_2 als einander gleich an und führt die weitere Rechnung wie dort durch, so wirft man die Änderungen von b_1 bzw. b_2 prozentisch auf A und B und kann fehlerhafte Resultate erhalten. — Will man beispielsweise Kilogramme mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mg vergleichen, so müssen auch die Hebelarme der Wage während der ganzen Gaußischen Wägung entsprechend ungeändert bleiben, d. h. bei einer Länge eines Hebelarmes von 20 cm muß die Unveränderlichkeit auf $\pm 0,002 \mu$ gewahrt bleiben. Thiesen¹⁾ schlägt deshalb vor, Schneiden und Pfannen während der ganzen Gaußischen Wägung überhaupt nicht von einander zu trennen; vielmehr würde ein Arretierungsmechanismus auszubilden sein, der nur am Gehänge angreift. An Stelle der Gewichte würde während der Vertauschung derselben eine Spiralfeder Schneiden und Pfannen mit derselben Kraft aufeinander zu drücken haben.

Auf Grund der Gleichungen 1) liefert eine Gaußische Wägung auch das Verhältnis der Hebelarme der Wage. Es wird nämlich

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{B + \beta}{A} = \frac{A + \alpha}{B} = \sqrt{\frac{(B + \beta)(A + \alpha)}{AB}},$$

oder mit Vernachlässigung von Größen, die von der zweiten Ordnung klein sind:

$$\frac{b_1}{b_2} = \sqrt{1 + \frac{\beta}{B} + \frac{\alpha}{A}} = 1 + \frac{\alpha + \beta}{2A} = 1 + \frac{\alpha + \beta}{2B}.$$

§ 55. Vollständige Wägung. Es sei vorausgesetzt, daß jede Gleichgewichtslage, die zu einer Belastung der Wage gehört, nach § 52 aus Schwingungen bestimmt ist. Zwei solcher Gleichgewichtslagen bei vertauschten Gewichten ergeben dann nach § 54 ein Wägungsergebnis nach Gaußischer Methode. Hier

¹⁾ M. Thiesen, Études sur la balance, S. 8.

bleibt aber, wie schon im § 54 angedeutet ist, eine Lücke insofern, als im allgemeinen durch direkte Belastungsänderungen nicht beide Male dieselbe Gleichgewichtslage erzielt wird. Um beide Gleichgewichtslagen aufeinander reduzieren zu können, muß man die Änderung der Gleichgewichtslage für eine bestimmte Zusatzbelastung, d. h. die Empfindlichkeit der Wage kennen, oder aber man muß Interpolationsbeobachtungen anstellen, wodurch zugleich die Empfindlichkeit der Wage gefunden wird.

Die Empfindlichkeit der Wage als bekannt vorauszusetzen, selbst wenn sie schon mehrfach für die in Frage kommende Belastung bestimmt sein sollte, ist wegen der unkontrollierbaren Änderungen, die eine Wage erleiden kann, nicht angezeigt. Es empfiehlt sich vielmehr, sie während der Wägung selbst zu ermitteln, und zwar sollte sie sowohl der Kontrolle, als auch der Symmetrie halber nicht einmal, sondern je einmal für beide Positionen der Gewichte beobachtet werden. Hierdurch würde die Zahl der das Resultat bestimmenden Einzelwägungen bei Anwendung der Gaußischen Methode von 2 auf 4 steigen.

Entsprechend dem metronomischen Grundsatz, alle Messungen symmetrisch zur Mitte anzuordnen, sind die vier Wägungen in umgekehrter Reihenfolge zu wiederholen. Dadurch verdoppelt sich die Zahl der Einzelwägungen abermals, so daß erst acht derselben eine Gaußische Wägung ausmachen.

Ein Beispiel wird das erläutern:

Belastung		Gleichgewichts-		Zusatz rechts mg	Mittel	Mittel mg
links	rechts	Lage	Mittel			
<i>A</i>	<i>B</i>	9,68 ^P	9,49 ^P	0,0000	} 11,12 ^P	— 0,0432
<i>A</i> + 0,0864	<i>B</i>	12,62	12,75	— 0,0864		
<i>B</i>	<i>A</i> + 0,0864	12,45	12,51	+ 0,0864	} 10,18	+ 0,1467
<i>B</i>	<i>A</i> + 0,2070	7,90	7,86	+ 0,2070		
<i>B</i>	<i>A</i> + 0,2070	7,82				
<i>B</i>	<i>A</i> + 0,0864	12,57				
<i>A</i> + 0,0864	<i>B</i>	12,88				
<i>A</i>	<i>B</i>	9,30				

Die Bedeutung der ersten drei Spalten wird ohne weiteres klar sein. Die vierte Spalte gibt die Gleichgewichtslagen, sym-

metrisch zur Mitte gemittelt; die fünfte Spalte enthält die Zusatzgewichte, entsprechend § 54 auf die rechte Seite bezogen. Aus zusammengehörigen Zahlen der vierten und fünften Spalte ergibt sich zweimal die Empfindlichkeit, nämlich

$$12,75^p - 9,49^p = 3,26^p = 0,0864 \text{ mg,}$$

woraus folgt $1^p = 0,0265 \text{ mg;}$

ferner $12,51^p - 7,86^p = 4,65^p = 0,1206 \text{ mg}$

und daraus $1^p = 0,0259 \text{ mg;}$

im Mittel $1^p = 0,0262 \text{ mg.}$

In den Spalten 6 und 7 werden dann die Zahlen der vierten und fünften Spalte zu je zwei zu Mitteln vereinigt. Man erkennt hieraus, daß keine Bestimmung einer Gleichgewichtslage in dem Wägungsschema vor einer anderen bevorzugt ist, sie sprechen alle völlig gleichmäßig bei der Ableitung des Resultates mit.

Nach den Ausführungen im § 54 ergibt sich schließlich mit den dort gebrauchten Bezeichnungen:

$$\beta = - 0,0432 \text{ mg}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= + 0,1467 \text{ mg} - (11,12 - 10,18) 0,0262 \text{ mg} \\ &= + 0,1467 \text{ mg} - 0,0246 \text{ mg} = + 0,1221 \text{ mg} \end{aligned}$$

und daraus $A - B = \frac{1}{2} (\beta - \alpha) = - 0,0826 \text{ mg.}$

Es mag noch darauf hingewiesen werden, daß es zweckmäßig ist, die Endmittel der Gleichgewichtslagen (vorletzte Spalte) durch Wahl der Zusatzbelastungen einander möglichst gleich zu machen. Auf diese Weise wird der Einfluß der Interpolation auf ein Mindestmaß herabgedrückt.

§ 56. Vergleichung mehrerer nahe gleicher Massen.

Die Gaußische Wägung gestattet immer nur die Vergleichung je zweier nahe gleicher Massen. Ist die Aufgabe zu lösen, eine Reihe nahe gleicher als unbekannt anzusehender Massen an eine oder mehrere bekannte Massen anzuschließen, so wird man sich nicht darauf beschränken, die unbekannt Massen lediglich einzeln direkt mit der bekannten Masse zu vergleichen, sondern man wird das Beobachtungsmaterial noch dadurch bedeutend zu vermehren suchen, daß man auch andere Wägungskombinationen ausführt. Wenn die Zahl der Massen nicht gar zu groß ist, wird man zunächst zweckmäßigerweise den Unterschied

zwischen unbekanntem und bekannten Massen ganz fallen lassen und die Massen zu je zwei in allen möglichen Kombinationen miteinander vergleichen. Die Rechnung ist nach der Methode der kleinsten Quadrate durchzuführen. Mit derselben Genauigkeit führt aber auch eine andere Ausgleichsrechnung zum Ziel, die am folgenden Beispiel erläutert werden möge.

Es handle sich um die Vergleichung von vier Massenstücken von nominell je 1 g; sie mögen mit A, B, C, D bezeichnet werden. Dann sind sechs Wägungen möglich, die auf der Spitzenswaage (§ 51) ausgeführt wurden und folgende in der zweiten Spalte der Tabelle aufgeführten Resultate ergeben haben:

	Beobachtet mg	Berechnet mg	$B - R$ in 0,0001 mg
$A - B$	- 0,0089	- 0,0091	+ 2
$A - C$	- 0,0129	- 0,0123	- 6
$A - D$	- 0,0107	- 0,0110	+ 3
$B - C$	- 0,0025	- 0,0032	+ 7
$B - D$	- 0,0025	- 0,0019	- 6
$C - D$	+ 0,0015	+ 0,0013	+ 2

Diese Ergebnisse trage man in ein quadratisches Schema ein, vertikal und horizontal mit den Eingängen A, B, C, D derart, daß eine am Kopf einer vertikalen Spalte stehende Masse gleich einer am Kopf einer horizontalen Spalte stehenden Masse ist, vermehrt um die im Schnitt beider Spalten stehende Zahl. Das Schema zeigt in der Diagonale lauter Nullen, da jede Masse sich selbst gleich ist; symmetrisch zu dieser Diagonale kehren dieselben Zahlen mit umgekehrten Vorzeichen wieder.

Einheit: 0,0001 mg

	A	B	C	D
A	± 0	+ 89	+ 129	+ 107
B	- 89	± 0	+ 25	+ 25
C	- 129	- 25	± 0	- 15
D	- 107	- 25	+ 15	± 0
Σ	- 325	+ 39	+ 169	+ 117
$\frac{1}{4} \Sigma$	- 81	+ 10	+ 42	+ 29

Addiert man die Vertikalspalten und dividiert man die Summe durch 4, so erhält man die Differenz zwischen der am Kopfe der Spalte stehenden Masse und dem Mittel aller übrigen Massen. Bezeichnet man also

$$\frac{1}{4} (A + B + C + D) = M,$$

so erhält man als direktes Resultat der Ausgleichung:

$$A = M - 0,0081 \text{ mg}$$

$$B = M + 0,0010 \text{ mg}$$

$$C = M + 0,0042 \text{ mg}$$

$$D = M + 0,0029 \text{ mg}.$$

Diese Werte führen wir in die Tabelle der Beobachtungen unter der Überschrift „Berechnet“ ein und bilden Beobachtung—Rechnung ($B - R$). Wie man sieht, bleiben die Beobachtungsfehler wesentlich unter $\pm 0,001$ mg; der wahrscheinliche Fehler einer Wägung berechnet sich zu $\pm 0,0006$ mg, der wahrscheinliche Fehler jeder Korrektur zu $\pm 0,0002$ mg. Diese wahrscheinlichen Fehler hätten durch Häufung der Beobachtungen noch etwas herabgedrückt werden können.

Bei Vergleichung größerer Massen treten natürlich größere wahrscheinliche Fehler auf. Der Anschluß der nationalen Kilogrammprototype an die internationalen Prototype, der im Bureau international des Poids et Mesures teils auf der im § 51 beschriebenen, teils auf ihr gleichwertigen Wagen ausgeführt wurde, ergab für die nationalen Prototype Werte, deren wahrscheinlicher Fehler zwischen $\pm 0,002$ und $\pm 0,003$ mg lag. Die Vergleichen konnten wegen der großen Zahl der Kilogramme nicht in allen Kombinationen vorgenommen werden; es wurden einzelne Gruppen gebildet, die in sich nach dem vorstehenden Schema behandelt und systematisch miteinander verknüpft wurden.

§ 57. Massennormale. Die wesentliche Forderung, welche man an Massennormale zu stellen hat, die Forderung der Unveränderlichkeit, ist noch schwerer zu erfüllen als die gleiche Forderung an Maßstäben. Während dort für die Wahl des Materials hauptsächlich Festigkeit und Härte, daneben auch noch das Verhalten des Materials gegen thermische Einflüsse maßgebend sind, erfordert bei Massennormalen die Widerstandsfähigkeit gegen

chemische Beanspruchungen, namentlich gegen die zerstörenden Einflüsse der Atmosphäre, besondere Aufmerksamkeit.

Die internationalen und nationalen Prototypen der Kilogramme sind, wie schon im § 10 bemerkt wurde, aus der Legierung von Platin mit 10 Proz. Iridium gefertigt. Dies Material scheint sich in jeder Hinsicht gut bewährt zu haben. Seiner allgemeinen Einführung steht aber der unverhältnismäßig hohe Preis hindernd im Wege. Ein anderes Material, dessen Unveränderlichkeit vielfach anerkannt ist, ist Bergkristall, doch hat Bergkristall die oft unangenehm empfundene Eigenschaft, durch Reiben sich elektrostatisch aufzuladen. Reiben ist aber nicht gänzlich zu vermeiden; es wird durch gelegentliches Abwischen des Massenstückes bedingt, ja das bloße Anfassen des Gewichtes mit einer belederten Zange ruft schon merkliche Ladungen hervor, die langsam und schwer verschwinden und, falls andere isolierte Körper sich in der Wage oder in ihrer Nähe befinden, erhebliche Wägungsfehler herbeiführen können¹⁾. — An Stelle von Bergkristall Glas zu verwenden, wie es wohl manches Mal vorgeschlagen ist, ist nicht ratsam, da Glas stark hygroskopisch ist und seine Masse daher mit der Feuchtigkeit der Luft veränderlich wird.

Die Ladungerscheinungen des Bergkristalls zeigt Aluminium nicht, das etwa dieselbe Dichte wie Bergkristall besitzt; dagegen ist seine Beständigkeit gegen Atmosphärenteilchen erheblich geringer.

Neuerdings scheint Nickel als Substanz für Massennormale etwas in Aufnahme zu kommen. Seine Beständigkeit dürfte ziemlich gut sein; auch scheint es möglich zu sein, die magnetischen Eigenschaften des Nickels für die vorliegenden Zwecke unschädlich zu machen. Das wird dadurch erleichtert, daß die Teile der Wage fast durchweg aus unmagnetischen Materialien bestehen.

Von alters her ist Messing zur Herstellung von Massennormalen verwendet worden. Um ihm seine Empfindlichkeit gegen atmosphärische Einflüsse zu nehmen, hat man die fertigen Stücke mit luftbeständigen Materialien überzogen, meist mit Gold, seltener mit Platin oder Nickel. Das gewöhnliche Verfahren ist die Herstellung der Metallüberzüge auf galvanischem Wege, was sich auch als Vernickelung gut zu bewähren scheint. Dagegen wird

¹⁾ Nach Dorn kann man durch in den Wagekasten eingeführte radioaktive Substanzen die Ladungen genügend schnell zerstreuen.

durch galvanische Vergoldung selten ein haltbarer Überzug erzielt; auch die sogenannte Feuervergoldung mit Hilfe von Goldamalgam liefert nicht immer gute Resultate.

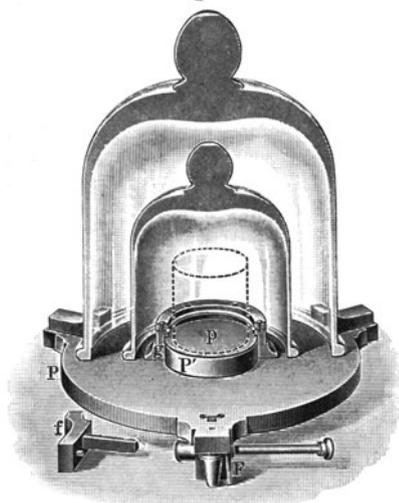
Für kleinere Gewichte unterhalb des Gramm verwendet man in der Regel reines Platin, unterhalb 10 mg das spezifisch viel leichtere Aluminium. Während sich die Platinstücke gut bewahren und für lange Zeiträume innerhalb sehr enger Grenzen unverändert bleiben, ändert sich Aluminium, da es hier meist in dünnen Blechen, die durch ihre große Oberfläche besonders ungünstig wirken, verwendet wird, häufig recht erheblich, vielfach sprungweise; man muß solche Massenstücke daher dauernd gut unter Aufsicht halten.

Jeder schädliche Einfluß der Atmosphäriken zeigt sich — fast immer als Oxydation — in einer Massenvermehrung, die oft recht beträchtlich ist und in der Regel die Massenverminderung, die durch Verschleiß beim Gebrauch des Massenstückes etwa eintreten kann, erheblich übertrifft. Schlecht vergoldete Massenstücke z. B. können dauernde Massenvermehrungen erfahren, die bis in die Ordnung der Milligramme gehen und solche Stücke als Massennormale überhaupt unbrauchbar machen.

Die Form der Massenstücke soll so gewählt sein, daß sie den atmosphärischen Einflüssen eine möglichst geringe Oberfläche darbieten. Die beste Form wäre hiernach die Kugel, die auch hin und wieder angewendet wird, aber doch manche Unbequemlichkeiten bietet. Nächst der Kugel ist der Zylinder mit planen Endflächen die beste Form; auch die internationalen und nationalen Kilogrammprototypen sind in dieser Form hergestellt. Solche Zylinder lassen sich mit geeigneten, mit Leder überspannten Zangen recht gut handhaben. Will man durchaus die früher so beliebte Form, Zylinder mit Knöpfen zum Anfassen, verwenden, so darf man nur Massenstücke wählen, bei denen Zylinder und Knopf aus einem und demselben vollen Stück herausgedreht sind. Die früher auch bei Massennormalen oft vorgenommene getrennte Herstellungsart von Knopf und Hauptkörper der Stücke und nachträgliche Verbindung beider durch Einschrauben ist gänzlich zu verwerfen. Auch Versuche, die Schraubstelle dadurch unschädlich zu machen, daß man den Metallüberzug über diese ohne Unterbrechung hinweggehen ließ, haben kein zufriedenstellendes Resultat ergeben.

Die Aufbewahrung von Massennormalen in Etuis u. dergl. ist nicht zu empfehlen. Die Ausfütterung der Etuis mit Seide oder Sammet ist meist mit Benutzung von Klebematerial erfolgt, welches leicht zu einer Beschädigung des Massenstückes führen kann. Außerdem ist das Herausheben aus dem Etui und das Hineinsetzen mit Reibung und demnach mit einer unnötigen, wenn auch jedesmal noch so geringen Substanzverminderung verbunden. Besser ist es, die Massennormale frei, auf einer ebenen Unterlage, etwa einer Ebene von glasiertem Porzellan aufzustellen

Fig. 25.



und mit einer Glasglocke zu überdecken, die nur entfernt wird, wenn das Massenstück gebraucht werden soll (vgl. hierzu § 66). Natürlich ist es möglich, mehrere Stücke, z. B. einen Massensatz, gemeinsam unter einer Glasglocke aufzubewahren.

Für die nationalen Kilogrammprototype ist vom internationalen Maß- und Gewichts-bureau das in Fig. 25 abgebildete Gehäuse eingeführt worden. In der Mitte einer breiten, dreifüßigen, oben versilberten Platte *P* ist der Messingzylinder *P'* befestigt, auf

welchem eine planparallel geschliffene Quarzplatte *p* liegt. Auf diese Platte wird das Kilogramm gestellt. Man setzt dann auf *P* die Metallmuffe *g* auf, die genau dem Zylinder *P'* angepaßt ist. Diese Muffe enthält einen spiegelglatt polierten Platinring, dessen innerer Durchmesser um 3 mm größer ist, als der Durchmesser des Kilogramms. Will man das Kilogramm abheben, so ist es zweckmäßig, vorher die Muffe *g* zu entfernen. Über das Kilogramm werden zwei Glasglocken gedeckt, von denen die eine, äußere, durch drei Klammern gehalten wird. Zwei dieser Klammern sind fest, die dritte *f* dient zum Verschließen. Wenn man diese einsetzt und sodann den Schlüssel *F* herauszieht, ist der

Apparat verschlossen und man kann so das Kilogramm kurze Strecken transportieren, indem man den Apparat an dem Knopf der Glocke emporhebt.

Die Bruchgramme, für welche man meist die Plattenform wählt, in besonderen Fällen die Form gestreckter oder zu sogenannten Reitern gebogener Drähte, bewahrt man am besten in ungefütterten Kästen aus hartem Holz auf. Für jedes Stück ist in das Holz eine etwa kreisförmige Vertiefung gebohrt, in welcher das Stück ohne Zwang Platz findet. Um die Plattengewichte bequem mit Elfenbeinpinzetten fassen zu können, ist eine Seite umgebogen. Stücke von verschiedenem Nennwert unterscheidet man am besten durch die Form (Fünfeck, Quadrat, Dreieck, längliches Viereck und Kreis). Stücke von gleichem Nennwert unterscheidet man wohl durch Einschlagen von Kernpunkten; besser noch ist, zufällige Unterscheidungsmerkmale aufzusuchen und festzulegen.

§ 58. Massensätze und ihre Etalonnierung. Massensätze sind Vereinigungen von Massennormalen. Ihre Einteilung (Stückelung) soll die Möglichkeit gewähren, jede beliebige Masse aufzubauen und hiermit eine noch unbekannte Masse mit Hilfe der Wage zu bestimmen. Dieses Ziel soll in übersichtlicher Weise und mit einem möglichst geringen Aufwand an Material und Arbeit erreicht werden. Das geschieht, abgesehen von speziellen Fällen, dadurch, daß man jede Dekade für sich behandelt und daß man die Nominalwerte in jeder Dekade wiederkehren läßt, wobei sich die Stücke der einzelnen Dekaden nur um ganzzahlige Potenzen von 10 von denen der anderen Dekaden unterscheiden. Hierdurch ist auch eine Einheitlichkeit des Etalonnierungsschemas erreicht, welches in jeder Dekade wiederkehrt. — Wieviel Dekaden in einem Massensatz vertreten sein sollen, hängt von den Zwecken der Wägung ab. Massensätze, welche etwa für chemische Zwecke verwendet werden sollen, brechen meist schon bei $0,01 \text{ g} = 10 \text{ mg}$ ab. Massensätze für metronomische Zwecke müssen um volle zwei Dekaden weiter reichen, bis $0,1 \text{ mg}$, da die im § 51 beschriebene Spitzenwage für 1 mg einseitiges Übergewicht bereits völlig umschlagen würde.

Für die Einteilung innerhalb jeder Dekade sind die Stückelungen

5	2	2	1	
5	2	1	1	1

viel im Gebrauch; manchmal fehlt, namentlich im letzteren Falle und in den höheren Dekaden, ein Einheitsstück; es wird durch die Summe aller Stücke der folgenden Dekade $\Sigma(0,5 + 0,2 + 0,1 + 0,1 + 0,1)$ ersetzt.

Beide Arten der Stückelung sind nicht sehr rationell. Doppelte Stücke für denselben Nominalbetrag erschweren durch die notwendige, erhöhte Aufmerksamkeit und die Möglichkeit beim Abzählen der Massenstücke leichter Fehler zu begehen, sehr das Arbeiten. Ferner erfordert die Abgleichung in einer Dekade vielfach drei Stücke (z. B. $8 = 5 + 2 + 1$), im zweiten Falle auch vier Stücke ($9 = 5 + 2 + 1 + 1$), was unnötige Anhäufung von Fehlern bedeutet. Endlich aber — und das ist wohl das am schwersten wiegende Bedenken gegen beide Stückelungen — ist die Etalonierung solcher Massensätze nicht mit der größtmöglichen Genauigkeit ausführbar. Betrachten wir die Etalonierung im ersten Falle, so ist der Anschluß an die höhere Dekade nur einmal möglich und die Zahl der Wägungen innerhalb einer Dekade nur gering; man erhält die folgenden Gleichungen, wo a, b, c die direkten Wägungsergebnisse darstellen:

$$\begin{aligned} (5) + (2) + (2.) + (1) - (10) &= a \\ (2) + (2.) + (1) - (5) &= b \\ (2) - (2.) &= c \end{aligned}$$

In diesen drei Gleichungen sind vier Unbekannte (5), (2), (2.), (1); die möglichen Wägungen reichen also zur Bestimmung der Korrekturen nicht einmal aus. Man kann die Etalonierung überhaupt nicht zu Ende führen, wenn man nicht noch ein Hilfsgewicht hinzunimmt, als welches man in solchem Falle in der Regel die Summe aller Stücke der nächsten Dekade $S = \Sigma(0,5 + 0,2 + 0,2 + 0,1)$ wählt; dadurch vermehrt sich die Zahl der Unbekannten um eine, die Zahl der Gleichungen erhöht sich zwar genügend; doch gewähren die überschüssigen Gleichungen für eine rationelle Ausgleichung der Beobachtungen keine ausreichende Unterlage, wie man aus den nach der Methode der kleinsten Quadrate aufzustellenden Normalgleichungen leicht ersehen kann. Auch werden die zur Etalonierung nötigen Wägungen durch die große Zahl der eingehenden Massenstücke sehr erschwert und die Resultate unsicher.

Ähnliches gilt von einer Stückelung

4 3 2 1

die mehrfach im Gebrauch ist.

Allen Bedingungen wird aber genügt, wenn man der letzten Stückelung noch die 5 hinzufügt, also hat

5 4 3 2 1.

Nicht nur, daß Doppelstücke völlig vermieden sind und daß zu einer Abwägung in jeder Dekade höchstens zwei Stücke nötig sind, auch der Anschluß an die höhere Dekade und die Etalonierung innerhalb der Dekade vollziehen sich mit großer Sicherheit und Eleganz. Das möge an einem Beispiel gezeigt werden.

Es sollen die fünf Massenstücke 100 mg, 200 mg, 300 mg, 400 mg, 500 mg bestimmt und an die schon bekannte Einheit der nächst höheren Dekade 1000 mg angeschlossen werden. Dann sind 12 voneinander unabhängige Wägungen möglich, in deren fünf die Einheit der nächst höheren Dekade eingeht. Die Ausführung der Wägungen auf der Spitzenwaage (§ 51) nach dem Schema im § 55 hatte die folgenden Gleichungen ergeben:

	Beobachtet mg	Berechnet mg	$B-R$ in 0,0001 mg
(500) + (400) + (200) - (1000) - (100)	+ 0,1165	+ 0,1160	+ 5
(500) + (400) + (300) - (1000) - (200)	+ 0,1547	+ 0,1557	- 10
(400) + (300) + (200) + (100) - (1000)	+ 0,2166	+ 0,2173	- 7
(500) + (400) + (100) - (1000) . . .	+ 0,1445	+ 0,1430	+ 15
(500) + (300) + (200) - (1000) . . .	+ 0,1518	+ 0,1521	- 3
(500) + (200) - (400) - (300)	- 0,0770	- 0,0779	+ 9
(500) + (100) - (400) - (200)	- 0,0379	- 0,0382	+ 3
(500) - (400) - (100)	- 0,0655	- 0,0652	- 3
(500) - (300) - (200)	- 0,0757	- 0,0743	- 14
(400) + (100) - (300) - (200)	- 0,0084	- 0,0091	+ 7
(400) - (300) - (100)	- 0,0365	- 0,0361	- 4
(300) - (200) - (100)	+ 0,0144	+ 0,0127	+ 17

In den 12 Beobachtungsgleichungen sind nur 5 Unbekannte, für deren Berechnung sich, bezogen auf das als fehlerfrei vorausgesetzte Stück (1000), nach der Methode der kleinsten Quadrate folgende Normalgleichungen ergaben:

$$\begin{array}{rcccccc}
 + 8 \cdot (500) & - & - & - & - & = + 0,3114 \\
 - & + 9 \cdot (400) & + 1 \cdot (300) & - & + 1 \cdot (100) & = + 0,7678 \\
 - & + 1 \cdot (400) & + 8 \cdot (300) & + 1 \cdot (200) & - & = + 0,7351 \\
 - & - & + 1 \cdot (300) & + 9 \cdot (200) & - 1 \cdot (100) & = + 0,3608 \\
 - & + 1 \cdot (400) & - & - 1 \cdot (200) & + 8 \cdot (100) & = + 0,2859
 \end{array}$$

An dem Bau dieser Normalgleichungen erkennt man, daß die einzelnen Massenstücke aus den Wägungen alle mit nahezu gleicher Sicherheit gefunden werden. Durch die — recht bequeme — Auflösung der Gleichungen erhält man:

$$\begin{array}{l}
 (500) = 0,5 \cdot (1000) + 0,0389 \text{ mg} \\
 (400) = 0,4 \cdot (1000) + 0,0732 \text{ „} \\
 (300) = 0,3 \cdot (1000) + 0,0784 \text{ „} \\
 (200) = 0,2 \cdot (1000) + 0,0348 \text{ „} \\
 (100) = 0,1 \cdot (1000) + 0,0309 \text{ „}
 \end{array}$$

Mit diesen Werten ergeben sich die oben unter „Berechnet“ aufgeführten Zahlen. Unter *B—R* stehen schließlich die übrigbleibenden Fehler im Sinne: Beobachtung minus Rechnung in 0,0001 mg. Man erkennt aus diesen Zahlen die erzielte große Genauigkeit der Wägungen, die auf wenige Zehntausendstel Milligramm bewertet werden kann.

Von besonderen Arten der Stückelung von Massensätzen mag hier nur eine erwähnt werden, welche viel gebraucht wird. Bei der im § 51 beschriebenen Kilogrammwaage findet sich eine Vorrichtung, um Zulagegewichte aufzusetzen, ohne den Wagekasten öffnen oder auch nur an die Wage herantreten zu müssen. Die Stückelung dieser Zulagegewichte muß dem höheren Zwecke angepaßt werden, mit möglichst wenig Mechanismen, also aus möglichst wenig Stücken eine möglichst große Mannigfaltigkeit der Zulagen in gleichmäßigen Stufen zu bilden. Das wird beispielsweise durch eine Stückelung nach Potenzen von 3 erreicht, also durch Massenstücke, welche in einer passenden Einheit, etwa in Milligramm die Werte

$$1 \quad 3 \quad 9 \quad 27 \quad 81 \text{ usw.}$$

besitzen. Werden solche Massensätze zu beiden Seiten der Wage bereitgestellt, so kann man durch gleichzeitige Betätigung der Mechanismen auf beiden Seiten der Wage aus Summe und Differenz sowohl links wie rechts Zulagegewichte kombinieren, welche von Einheit zu Einheit bis zur Summe aller Zulagegewichte fortschreiten, also sowohl links wie rechts die Zulagegewichte

1, 2, 3, 4...121 usw. schaffen. Bei der S. 92 beschriebenen Vorrichtung läßt sich der gleiche Zweck auf noch einfachere Weise mit nur einem Massensatz erreichen.

Solche nach Potenzen gegliederte Massensätze können in sich natürlich nicht etalonniert werden. Ihre Auswertung erfolgt durch Anschluß an bekannte Massensätze der üblichen Stückerlung, wobei die Ausführung überschüssiger Wägungen zum Zweck der Erhöhung der Genauigkeit und der Kontrolle anzuraten ist. Allgemeine Regeln für die Bestimmung solcher und ähnlicher Massensätze können nicht gegeben werden.

Vierter Abschnitt.

Einfluß äußerer Verhältnisse auf die Wägungen. Ihre Berücksichtigung.

§ 59. **Änderung der Schwere mit der Höhe.** Die Vergleichung von Massen durch Wägung setzt voraus, daß die Schwerkraft auf alle zu untersuchenden Massen mit derselben Intensität wirke. Solange sich die Schwerpunkte der Massen im selben Niveau befinden, ist diese Bedingung erfüllt; andererseits ist in das Resultat der Wägung eine Korrektion einzuführen, welche sich folgendermaßen bestimmt.

Durch Versuche¹⁾, bei denen sich zwei Massen (Kilogramme) rechts und links auf den Schalen einer Wage in absichtlich erheblich verschiedener Höhe befanden, ist festgestellt worden, daß das Gewicht eines Kilogramms durch eine Erhebung um 1 m auf dem Grundstück der Physikalisch - Technischen

Reichsanstalt in Charlottenburg um	0,295 mg
im Pavillon de Breteuil (Bureau intern. des Poids et Mes.) um	0,309 „

¹⁾ K. Scheel und H. Diesselhorst, *Wiss. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanst.* 2, 185—200 (1895); M. Thiesen, *Détermination de la variation de la pesanteur avec la hauteur au Pavillon de Breteuil. Trav. et Mém. du Bureau intern. des Poids et Mes.* 7 (1890).

abnimmt. Das abgerundete Mittel beider Zahlen, 0,300 mg, wird man für die bei Wägungen meist in Frage kommenden kleinen Höhendifferenzen auf der ganzen Erdoberfläche als gültig ansehen können. Um also der Änderung der Schwere mit der Höhe Rechnung zu tragen, ermittelt man angenähert die Schwerpunkte der Gewichte auf beiden Wagschalen; ist der Höhenunterschied a cm und beträgt der Nominalwert der zu vergleichenden Gewichte b kg, so wird die Gewichts-differenz

$$A - B = c + a \cdot b \cdot 0,003 \text{ mg,}$$

wenn c das direkte Wägungsresultat und A diejenige Masse war, deren Schwerpunkt höher lag.

§ 60. Einfluß der Luftdichte. Nach dem Archimedes-schen Gesetz erleidet ein Körper in irgend einem umgebenden Mittel einen Gewichtsverlust, welcher gleich dem Gewicht des von ihm verdrängten Mittels ist. Da die Wägungen meist in der atmosphärischen Luft ausgeführt werden, so resultiert aus dem genannten Gesetz eine erhebliche Verfälschung des Resultates, die in Rechnung gezogen werden muß. Dies geschieht dadurch, daß man sich vorstellt, welcher Einfluß auf die beiden durch Wägung zu vergleichenden Massen A und B , deren kleiner Gewichtsunterschied in Luft durch Wägung gleich c gefunden sei, ausgeübt würde, wenn man plötzlich die umgebende atmosphärische Luft entfernte. Offenbar wird dann jede der beiden Massen, da jetzt der Auftrieb der Luft fortfällt, schwerer, und zwar jede um soviel wie eine Luftmasse wiegt, welche dasselbe Volumen wie die betreffende Masse einnimmt. Bezeichnen also V_A und V_B die Volumina der Massenstücke A und B , ferner s_A und s_B die Dichten der die Massenstücke A und B umgebenden Luft, so wird aus dem Wägungsresultat

$$A - B = c$$

die Massengleichung

$$(A - V_A s_A) - (B - V_B s_B) = c$$

oder

$$A - B = c + V_A s_A - V_B s_B.$$

In den meisten Fällen, namentlich aber, wenn sich die zu vergleichenden Massenstücke in demselben Wagekasten in nahe gleicher Höhe befinden, ist $s_A = s_B = s$; die Massengleichung nimmt dann die einfachere Form an:

$$A - B = c + (V_A - V_B)s.$$

Die Größe $(V_A - V_B)s$ nennt man die Korrektur zur Reduktion der Wägung auf den leeren Raum. Über die Bestimmung der Volumina der Massenstücke vgl. den nächsten (fünften) Abschnitt; s läßt sich auf mehreren Wegen ermitteln.

§ 61. Bestimmung der Luftdichte aus meteorologischen Beobachtungen. Die atmosphärische Luft hat nach Ramsay¹⁾ folgende Zusammensetzung:

	Sauerstoff	Stickstoff	Argon	Krypton	Xenon	Neon	Helium
Nach Volumen	21,0	78,05	0,95	—	—	0,00123	0,00040
„ Gewicht	23,2	75,5	1,3	0,028	0,005	0,00086	0,000056

Außerdem enthält die Luft wechselnde Mengen von Wasserdampf und Kohlensäure; für die letztere kann man im Mittel 0,03 Volumprocente oder 0,046 Gewichtsprocente annehmen.

Die aus Sauerstoff, Stickstoff, Argon, Krypton, Xenon, Neon und Helium bestehende atmosphärische Luft hat nach den besten Bestimmungen unter dem Druck von 760 mm Quecksilber bei 0° die Dichte

$$s_0 = 0,0012928,$$

unter dem Druck h mm bei t° die Dichte

$$s = \frac{s_0}{1 + \alpha t} \cdot \frac{h}{760} = \frac{0,0012928}{1 + \alpha t} \cdot \frac{h}{760},$$

wo $\alpha = 0,00367$ die Ausdehnung der Gase für 1° Temperaturerhöhung bedeutet.

Die Dichte von Wasserdampf ist bei denselben Verhältnissen unter dem Druck e :

$$0,622 \cdot \frac{s_0}{1 + \alpha t} \cdot \frac{e}{760},$$

diejenige von Kohlensäure unter dem Druck k :

$$1,53 \cdot \frac{s_0}{1 + \alpha t} \cdot \frac{k}{760}.$$

¹⁾ W. Ramsay, Proc. Roy. Soc. London (A) 80, 599 (1908).
Scheel, Metronomie.

Über die Bestimmung von t vgl. § 62. Der Druck der Kohlensäure wird bei einem mittleren Gehalt von 0,03 Volumprozent = 0,046 Gewichtsprozent

$$k = 0,23 \text{ mm};$$

bei einem wesentlich anderen Gehalt an Kohlensäure wäre dieser Wert proportional anders anzunehmen. Der Druck e des Wasserdampfes ist besonders zu bestimmen (§ 64). Endlich wird der Druck h des unveränderlichen Bestandteiles der atmosphärischen Luft aus dem gesamten Luftdruck p (§ 63) gefunden als

$$h = p - e - k.$$

Demnach wird die Luftdichte

$$s = \frac{s_0}{1 + \alpha t} \left[\frac{p - e - k}{760} + 0,622 \frac{e}{760} + 1,53 \frac{k}{760} \right]$$

oder

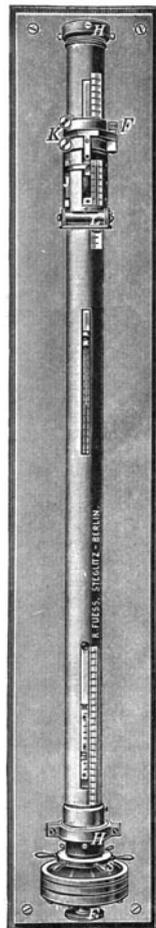
$$s = \frac{0,0012928}{1 + 0,00367 \cdot t} \left[\frac{p - 0,378 e + 0,53 k}{760} \right].$$

Die im Anhang gegebenen Tabellen 1 und 2 dienen zur bequemen logarithmischen Berechnung von s auf Grund dieses Ausdrucks.

§ 62. Messung der Lufttemperatur t . Im § 44 war bereits hervorgehoben, wie schwierig es ist, in einfacher Weise die Temperatur eines Metallstückes zu bestimmen. Ähnliches gilt auch von der Ermittlung der Temperatur der Luft in der Nähe der zu untersuchenden Massenstücke. Es wird häufig empfohlen, den Wagekasten bis kurz vor Beginn der Wägung zwecks Ausgleichs der Luft mit der Zimmerluft geöffnet zu halten, doch werden hierdurch Temperaturschichtungen, die im Innern des Wagekastens bestehen, nicht zerstört. Namentlich setzt sich in etwa vorhandenen Hohlräumen, z. B. im Innern von Tiegeln, gerne stagnierende Luft fest, deren Temperatur von der übrigen Luft im Wagegehäuse sehr verschieden sein kann. Vielfach mag deshalb die Inbetriebsetzung eines Ventilators oder eines Lufrührers im Innern des Wagekastens angebracht erscheinen, eventuell in Verbindung mit dem trockenen Thermometer des Assmannschen Psychrometers (§ 64). Allgemeine Vorschriften lassen sich indessen nicht geben.

§ 63. **Messung des Luftdruckes p .** Zur Messung des Luftdruckes dient das Barometer; Fig. 26 zeigt die verbesserte Form eines in den Ringen HH aufgehängten Wild-Fuessschen Heberbarometers, dessen Schenkel eine lichte Weite von 15 mm haben. Die Schenkel tauchen in ein weites eisernes Gefäß, dessen Boden aus einer federnden dünnen Platte von Stahlwellblech besteht. Den oberen Verschluß des eisernen Gefäßes bildet ein nach oben gestülpter Ledersack, welcher durch einen mittels Schraube S verstellbaren Deckel geschützt wird. Größere Hebungen und Senkungen des Quecksilbers führt man dadurch herbei, daß man den Deckel mit Hilfe der Handgriffe hinunter- und hinaufschraubt, während die Feineinstellungen durch Heben der Bodenplatte mittels einer Schraube E bewirkt werden.

Fig. 26.



Die starke Umschlußröhre ist vor dem Aufbringen der Teilung sorgfältig abgedreht, um eine präzise Geradeführung der Visierlinie der 0,02 mm angehenden Ablesevorrichtung zu ermöglichen. Der ganze bewegliche Teil läßt sich durch die Schraube K festklemmen und dann durch die Mikrometerschraube F fein verschieben. Zum Einstellen der Quecksilberkuppen benutzt man die Visierebene, welche durch die vordere und hintere Kante einer mit Nonius versehenen Hülse gegeben ist, und bringt durch Drehen der Mikrometerschraube F diese Ebene mit der Kuppe zur Berührung, so daß der letzte von hinten durch weißes Papier reflektierte Lichtschein in der Mitte gerade verschwindet. Die Temperatur der Quecksilbersäule wird an einem gut geschützten Thermometer t im Innern der Umhüllungsröhre abgelesen. L ist eine Libelle.

Zur Reduktion des beobachteten Barometerstandes H auf die Angaben einer Quecksilbersäule von 0^0 , gemessen mit einem Maßstab von 0^0 , ist die Korrektion

$$- (0,000182 - \beta) \cdot H \cdot t$$

anzubringen. Hier bedeutet 0,000182 die kubische Ausdehnung

des Quecksilbers für 1° C, β den linearen Ausdehnungskoeffizienten des Maßstabes, bei dem Wild-Fuessschen Barometer der Umhüllungsrohre, für Messing 0,000 019, für Glas 0,000 010. Entsprechende Tafeln findet man in Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen und Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik.

Der wegen des Temperatureinflusses reduzierte Barometerstand ist schließlich zwecks Reduktion auf Normalschwere noch mit

$$1 - 0,0026 \cos 2 \varphi - 0,000 000 2 M$$

zu multiplizieren, wo φ die geographische Breite, M die Höhe des Beobachtungsortes über dem Meeresspiegel bedeutet. Für Berlin ist der obige Faktor 1,000 67, das entspricht den folgenden Korrekturen:

bei 740 mm	+	0,50 mm
„ 750 „	+	0,50 „
„ 760 „	+	0,51 „
„ 770 „	+	0,52 „
„ 780 „	+	0,52 „

§ 64. Messung der Spannkraft des Wasserdampfes e .

Ist die atmosphärische Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, so hat der Druck e' des Wasserdampfes bei den verschiedenen Temperaturen die in der Tabelle 3 im Anhang gegebenen Werte. Im allgemeinen ist aber die Luft mit Wasserdampf nur teilweise gesättigt; es handelt sich darum, in diesem Falle den Dampfdruck e zu finden. Hierzu bedient man sich bei Wägungen zweier verschiedener Instrumente:

a) Assmannsches Psychrometer. Das Assmannsche Psychrometer besteht ebenso wie das Augustsche Psychrometer aus einem trockenen und einem feuchten Thermometer, deren Gefäße sich in polierten Metallhülsen befinden; die Metallhülsen schließen sich gabelförmig zu einer Mittelhülse. Die Luft wird mittels eines durch Uhrwerk betriebenen Schraubenflügelaspirators in schnellem Strome an beiden Thermometern vorbeigesaugt und dadurch eine Übereinstimmung zwischen der wahren Lufttemperatur und der Thermometerangabe erzielt. Die Spannung e des Wasserdampfes in der atmosphärischen Luft ergibt sich mit dem Assmannschen Psychrometer aus dem Sättigungsdruck e'

$$e = e' - 0,000 66 \cdot p \cdot (t - t');$$

p bedeutet den Luftdruck; t und t' sind die Angaben des trocknen und feuchten Thermometers.

b) Haarhygrometer. Das Haarhygrometer ist deshalb besonders bequem, weil es direkt kontinuierlich die Feuchtigkeit prozentisch anzeigt. Sein Mangel liegt wesentlich darin, daß die Teilung ziemlich willkürlich ausgeführt und den individuellen Eigenschaften der Haare nicht angepaßt ist. Solange das Instrument nicht geeicht ist, ist also Vorsicht geboten. Eine spätere Kontrolle mag in der Beobachtung des 100 Proz.-Punktes bestehen, der wiedergefunden werden soll, wenn das Instrument in eine sehr feuchte Atmosphäre gebracht wird. Den Punkt 0 Proz. zu verifizieren, unterlasse man, da starke Austrocknung das ausgespannte Haar unkontrollierbar dauernd verändert. Zeigt das geeichte Instrument a Proz. Feuchtigkeit an, so ist der herrschende Druck des Wasserdampfes bei der Temperatur t

$$e = \frac{a}{100} \cdot e_t'$$

Die Eichung kann entweder mit dem Assmannschen Psychrometer (vgl. unter a) geschehen, oder aber, indem man das Hygrometer längere Zeit mit Schwefelsäure-Wasser-Mischungen bekannter Konzentration unter eine Glasglocke bringt. Nach Herstellung des Gleichgewichts herrscht¹⁾ in der Umgegend einer Mischung von Wasser mit

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	Proz. H ₂ SO ₄
die relative										
Feuchtigkeit . . .	100	95	87	76	57	35	18	7	2	„

§ 65. Experimentelle Bestimmung der Luftdichte während der Wägung. In § 60 war gezeigt worden, daß, wenn zwei Körper A und B mit den Volumina V_A und V_B bei einer Wägung in Luft von der Dichte s die Gewichts-differenz

$$A - B = c$$

gegeben hatten, daß dann die Massengleichung bestand:

$$A - B = c + (V_A - V_B)s.$$

Die Bestimmung von s aus meteorologischen Daten erfordert, wie in den §§ 61 bis 64 auseinandergesetzt wurde, eine Reihe

¹⁾ Regnault, Ann. chim. phys. (3) 15, 129 (1845); vgl. St. Linde, Zeitschr. f. Instrumentenk. 28, 237 (1908).

von Beobachtungen, die teilweise umständlich und zeitraubend, mehrfach auch ungenau sind und deren Ergebnisse den wahren Verhältnissen nicht immer entsprechen. Es verdient deshalb eine Methode Beachtung, welche, nachdem einmal eine Reihe meteorologischer Beobachtungen mit großer Sorgfalt angestellt worden ist, für die Folgezeit solche Beobachtungen gänzlich überflüssig macht. Zu diesem Zwecke ist ein Paar nahe gleicher Massen nötig, welche ein sehr verschiedenes Volumen besitzen. Nennen wir diese Massen M und N , ihre Volumina V_M und V_N , so erhalten wir analog dem obigen Ausdruck durch eine Wägung

$$M - N = a$$

eine Massengleichung

$$M - N = a + (V_M - V_N)s.$$

Wollen wir uns nun vorstellen, daß unter sehr verschiedenen meteorologischen Verhältnissen Wägungen ausgeführt seien, so muß, da die Differenz der Massen $M - N$ unabhängig von allen meteorologischen Einflüssen ist, die rechte Seite der zuletzt hingeschriebenen Massengleichung immer einen und denselben Wert ergeben haben, d. h. um ebensoviele wie sich das Korrektionsglied $(V_M - V_N)s$ ändert, muß sich auch das Wägungsergebnis a im entgegengesetzten Sinne ändern. Nennen wir das Mittel aller Werte der rechten Seite b , so ist also

$$M - N = a + (V_M - V_N)s = b$$

und somit

$$s = \frac{b - a}{V_M - V_N}.$$

Die experimentelle Bestimmung der Luftdichte während der Wägung von A und B besteht nun darin, daß man gleichzeitig mit dieser Wägung auch eine Wägung der „Luftgewichtskörper“ M und N mit dem Resultat $M - N = a$ ausführt; dann erhält man eben für s den vorstehenden Ausdruck und, wenn man diesen in die Massengleichung für $A - B$ einsetzt,

$$A - B = c + \frac{V_A - V_B}{V_M - V_N}(b - a).$$

Diese Methode der experimentellen Bestimmung der Luftdichte während der Wägung hat auf den ersten Blick sehr viel Bestechendes; indessen hatten ihr auch einige Nachteile an. Zu-

nächst wird sich b selbst aus einer großen Zahl von Wägungen nicht wie es verlangt wird, als eine konstante Größe ergeben. Das liegt daran, daß bei allen Wägungen unberechenbare Einflüsse mitspielen, zu deren Berücksichtigung meteorologische Beobachtungen allein nicht genügende Anhaltspunkte liefern. Hierbei sei hauptsächlich der Oberflächenstörungen gedacht, wovon noch im folgenden § 66 die Rede sein wird und welche bei den Wägungen mit Luftgewichtskörpern, die ja sehr verschieden große Oberflächen erfordern, besonders ungünstig wirken. Sind die Oberflächenstörungen bei den Bestimmungswägungen der Luftgewichtskörper namentlich in einem Sinne aufgetreten, so werden die späteren Wägungen, bei denen die Luftgewichtskörper benutzt werden, gleichfalls einseitig beeinflußt.

Eine weitere in der Methode der Luftgewichtskörper begründete Fehlerquelle kann darin gefunden werden, daß das besonders große Volumen eines Luftgewichtskörpers nur dadurch erreicht werden kann, daß man den Körper zum Hohlkörper ausbildet. Das Volumen eines solchen ist aber, wenn nicht besondere Versteifungen im Innern des Körpers vorgesehen sind, sehr erheblich vom äußeren Luftdruck abhängig.

Endlich ist auch gegen die Methode der Luftgewichtskörper eingewendet worden, daß die Einschiebung ihrer Wägung in die Hauptwägung die Dauer der letzteren verdoppelt oder doch unliebsam verlängert, wodurch erfahrungsgemäß die Güte der Wägung leiden würde, und daß durch das abwechselnde Wägen der Vergleichsmassen und der Luftgewichtskörper der Wagebalken abwechselnd verschieden auf Durchbiegung beansprucht würde. Gerade der letzte Einwand ist aber am wenigsten stichhaltig, denn es steht nichts im Wege durch Zufügung gleicher Massen von gleichem Volumen zu den Luftgewichtskörpern die bei den Wägungen derselben in Frage kommenden Massen nahe gleich den Massen der Vergleichskörper zu machen.

§ 66. Wägungen im Vakuum. Man hat versucht, in der Eliminierung der Luftdichte während der Wägung noch einen Schritt weiter zu gehen, indem man die Wägungen im Vakuum anstellte. In diesem Falle wird nämlich $s = 0$, und das Wägungsergebnis

$$A - B = c$$

stellt zugleich die Massengleichung dar. Bei der praktischen Durchführung der Methode ergeben sich aber Unzuträglichkeiten, welche die Methode gänzlich in Verruf gebracht haben.

Der Grund hierfür ist wohl darin zu suchen, daß irgendwelche Massenstücke wohl überhaupt niemals wirklich konstante Massen darstellen. Sind die Stücke aus weniger edlem Material gefertigt, so ist die Oberfläche mehr oder weniger stark chemischen Einflüssen der Umgebung ausgesetzt, was sich, wie schon früher (§ 57) hervorgehoben wurde, in einer Massenvermehrung zeigt. Aber auch wenn das Massenstück aus besserem Material besteht, sind äußere Einflüsse auf dasselbe nicht wirkungslos. Vor allem ist es die in ihrer Stärke wechselnde Feuchtigkeit der atmosphärischen Luft, welche sich je nach der Beschaffenheit der Oberfläche des Massenstückes auf dieser kondensiert, möglicherweise auch in Poren eindringt. Im allgemeinen wird, auch hinsichtlich der rein chemischen Einflüsse, noch bei mäßigen Schwankungen der Luftfeuchtigkeit sich ein Gleichgewichtszustand herausbilden, der die Masse eines Gewichtsstückes auch über längere Zeiträume konstant erscheinen läßt. Wird aber das betreffende Gewichtsstück in das Vakuum oder auch nur einen stark luftverdünnten Raum gebracht, so entfernt sich schnell alle Feuchtigkeit und auch alle sonst an der Oberfläche haftenden Gase von dieser, und das zu wägende Stück verliert merklich an Masse.

Eine Vakuumwägung wird also gar nicht mehr mit der ursprünglichen Masse, sondern mit einer unter Umständen recht erheblich verringerten ausgeführt und kann darum auch gar kein richtiges Resultat ergeben. Hierin besteht aber der Schaden noch nicht allein. Bringt man nach der Wägung das Massenstück wieder in die atmosphärische Luft, so beginnt ein Rückbildungsprozeß, das Massenstück kondensiert wieder Feuchtigkeit und andere Gase auf seiner Oberfläche und in den dieser naheliegenden Schichten und kommt erst ganz allmählich wieder in seinen Ruhezustand.

Daß solche Oberflächenkondensationen tatsächlich stattfinden und störende Beträge annehmen können, ist mehrfach direkt und indirekt erwiesen. Einige wenige Beispiele mögen das erläutern.

Scheel und Heuse¹⁾ haben bei dem Studium der schein-

¹⁾ Karl Scheel und Wilhelm Heuse, Verh. d. Deutschen Phys. Ges. 10, 785 bis 793 (1908).

baren Abweichungen der Gase bei kleinen Drucken vom Mariotteschen Gesetze das Verhältnis von Oberfläche und Volumen ihres Rezipienten dadurch erheblich vergrößert, daß sie diesen mit Glaswolle anfüllten. Sie fanden hierbei, daß die scheinbaren Abweichungen der Luft vom Mariotteschen Gesetz auf der Bildung einer Wasserhaut auf den Oberflächen im Innern des Rezipienten beruhen, nach deren Entfernung sie verschwinden. Sie fanden weiter, daß zur Entfernung der Feuchtigkeitsschicht je nach der Art der Trocknung längere oder kürzere Zeit nötig war; die Dicke der adhärierenden Schicht und ihre Masse sind also stark schwankende Begriffe, woraus für die Wägung beträchtliche Unsicherheiten resultieren.

Guye und Zachariadès¹⁾ bestimmten die Masse gepulverter Salze auf zweierlei Art. Sie füllten das gepulverte Salz in einen bereits gewogenen Glaskolben und bestimmten dessen Gewicht nach der Füllung. Die Differenz der Gewichte des gefüllten und leeren Kolbens wurde in der üblichen Weise wegen des Luftauftriebs reduziert und so die Masse der Substanz gefunden; dabei wurde zur Ermittlung des Volumens für die Dichte des gepulverten Salzes derselbe Wert angenommen, wie er für das un-
gepulverte Salz bekannt ist. Die zweite Art der Massenbestimmung geschah in der Weise, daß man das gepulverte Salz in einen mit Hahn verschließbaren Kolben füllte. Der Kolben wurde evakuiert und ebenfalls leer und gefüllt gewogen. Auch hier ergibt sich die Masse der Substanz als Differenz beider Wägungen. Zur Ermittlung der Korrektur wegen Luftauftriebs ist aber jetzt die Kenntnis der Dichte des Salzes nicht mehr erforderlich; in beiden Teilwägungen kommt, abgesehen von den Normalgewichten, nur das Volumen des Glaskolbens in Frage, dessen Einfluß in der Differenz herausfällt. Guye und Zachariadès fanden nach der zweiten Methode, welche unzweifelhaft die richtigere ist, durchweg größere Werte der Masse; die Resultate beider Methoden weisen Unterschiede bis zu $\frac{1}{4000}$ der Masse selbst auf.

Guye und Zachariadès erklären dieses Ergebnis damit, daß die einzelnen Teilchen des gepulverten Salzes von einer Feuchtigkeitsschicht oder Gasschicht umgeben sind, welche unter ge-

¹⁾ Ph. A. Guye et N. Zachariadès, Compt. rend. 149, 1122 bis 1123 (1909).

wöhnlichem Luftdruck fest an ihnen haftet. Hierdurch würde einerseits ihre Masse vergrößert erscheinen, andererseits würde aber auch der gepulverten Substanz in der gewöhnlichen Atmosphäre eine kleinere Dichte oder ein größeres Volumen zukommen als es die ungepulverte Substanz besitzt. Indem man bei der Berechnung der Korrektion wegen Luftauftriebs die Dichte der ungepulverten Substanz, d. h. ein zu kleines Volumen in Rechnung setzt, findet man eine zu kleine Masse. Man erkennt hieraus, daß beide Einflüsse derselben Fehlerquelle nach verschiedenen Richtungen wirken, sich also teilweise aufheben. Welche Gesamtwirkung übrig bleibt, läßt sich von vornherein nicht sagen; im vorliegenden Falle fälschte sie das Resultat in dem Sinne, daß die Masse bei der gebräuchlichen Art der Wägung zu klein gefunden wurde.

Endlich liegen mannigfache Erfahrungen vor, wonach Massenstücke nach ihrer Volumenisierung durch Wägung im Wasser (§§ 71 und 73) ihre Masse vorübergehend erheblich ändern, und erst nach einer längeren Erholungszeit wieder als Massennormale benutzt werden können. Das gilt in erster Linie von Massenstücken aus weniger edlem Material; aber auch an Massenstücken aus Platiniridium, den internationalen und nationalen Prototypen, ist ein solches Verhalten vielfach beobachtet worden¹⁾.

Aus alledem geht hervor, daß man Massennormale tunlichst vor Veränderungen der Umgebung schützen soll, daß man sie aber unter keinen Umständen zu Wägungen im Vakuum mißbrauchen darf. Um die Hauptursache der Veränderlichkeit, die wechselnde Feuchtigkeit auszuschalten, empfiehlt es sich, Massennormale ersten Ranges in Hygrostaten aufzubewahren, das sind Vorrichtungen, welche dauernd denselben Feuchtigkeitszustand der umgebenden atmosphärischen Luft gewährleisten. Ein solcher Hygrostat ist von Lindeck²⁾ bereits zur dauernden Aufbewahrung von Normalen elektrischer Widerstände vorgeschlagen. Er besteht im wesentlichen aus einem Zinkblechkasten; die Dichtung des vom Grundbrett abnehmbaren Oberteils erfolgt dadurch, daß dieses in eine mit Maschinenöl gefüllte Nute hineinpaßt. Zur Aufrechterhaltung einer konstanten Feuchtigkeit, etwa einer solchen

¹⁾ Vgl. M. Thiesen, Trav. et Mém. du Bureau intern. des Poids et Mesures 9, B, 34 ff. (1899).

²⁾ St. Lindeck, Zeitschr. f. Instrumentenk. 28, 238 (1908).

von 50 Proz., dienen Schwefelsäure-Wasser-Mischungen (vgl. § 64), welche sich im Hygrostaten befinden. Dabei ist Vorsorge zu treffen, daß bei einer Druckverminderung der abgeschlossenen Innenluft nur solche Luft von außen eingesaugt wird, welche durch Schwefelsäure von derselben Konzentration hindurchgegangen ist, wie sie diejenige besitzt, die sich im Innern befindet.

Die Vakuumwage, d. h. eine Wage vom Typus der im § 51 beschriebenen, welche gestattet alle Manipulationen, wie Loslassen und Arretieren, Vertauschen der Gewichte, Aufsetzen der Zulage von außen ohne Öffnung des Wagegehäuses vorzunehmen, wäre dann zweckmäßigerweise auch als Hygrostat auszubilden, so daß der Zustand der Massennormale erster Ordnung auch während der Wägung nicht geändert würde.

§ 67. Aufbau von Massen beliebigen Volumens. Aus der Massengleichung (§ 60)

$$A - B = c + (V_A - V_B)s$$

erkennt man, daß der Einfluß der schwankenden Luftdichte auf das Wägungsergebnis auch um so kleiner wird, je kleiner die Differenz $V_A - V_B$ ist. Die Differenz ist nahezu gleich Null bei Massenstücken von gleichem Nennwert aus gleichem Material. Hieraus erklärt sich, weshalb Vergleichen derartiger Stücke mit großer Genauigkeit ausführbar sind und bei Wahl eines geeigneten Materials in den Stücken auch innerhalb weiter auseinander liegender Zeiträume unveränderte Resultate ergeben.

Ein Mittel, die Differenz $V_A - V_B$ möglichst klein zu machen, besteht darin das Massennormal B so aus einzelnen Teilen zusammenzusetzen, daß das Volumen von B , nämlich V_B , sehr nahe gleich V_A , dem Volumen von A , wird. Hierzu bedarf man zweier Massensätze, eines von kleinem spezifischen Volumen, z. B. Platiniridium, von welchem 1 kg das Volumen von etwa 46 ml besitzt, und eines von großem spezifischen Volumen, z. B. Bergkristall oder Aluminium oder Magnalium, von denen 1 kg den weit größeren Raum von etwa 370 ml einnimmt.

Welchen Beitrag jeder der beiden Massensätze gegebenenfalls zum Aufbau der Normalmasse zu liefern hat, wird eine einfache Überlegung ergeben.

So große Vorteile diese Wägungsmethode auch bietet, so dürfen doch auch ihre Nachteile nicht verschwiegen werden. Zu-

nächst muß man sich darüber im klaren sein, daß die Schwierigkeit, die Luftdichte in Rechnung ziehen zu müssen, nicht beseitigt, sondern nur verschoben ist. Beide Massensätze müssen an eine Normalmasse angeschlossen werden und unter sich in Einklang gebracht werden. Hierbei geht die Korrektion wegen der Luftdichte ihrem vollen Betrage nach ein und ihre Unsicherheit macht sich beim Gebrauch aller Massenstücke aus jedem Satze proportionaliter geltend. Ferner aber ist zu berücksichtigen, daß die Etalonnierung der beiden Massensätze für jedes Stück einen Bestimmungsfehler bedingt. Diese Fehler bedingen aber bei der Summation einer Reihe solcher Massenstücke auch einen entsprechend höheren Fehler, eine erhöhte Unsicherheit in der Kenntnis der Massensumme, wodurch die Vorteile der Methode unter Umständen in Frage gestellt werden können. Trotzdem werden in vielen Fällen die Vorteile der Methode ihre Nachteile zu überwiegen vermögen.

Fünfter Abschnitt.

R a u m m e s s u n g e n .

§ 68. Volumenbestimmung durch Linearmessung.

Als einfachste Methode, den Rauminhalt eines Körpers zu bestimmen, bietet sich diejenige der Abmessung seiner Begrenzungslinien. Das Verfahren ist jedoch nur anwendbar, wenn der Körper regelmäßig gestaltet ist, so daß es möglich ist, das Volumen des Körpers nach geometrischen Regeln aus den Längen der Begrenzungslinien zu berechnen. Trotz ihrer scheinbaren Einfachheit ist die Methode keiner großen Genauigkeit fähig, weil bereits kleine Beobachtungsfehler in den Linearmessungen große Fehler für das Volumen bedingen. Nehmen wir z. B. an, die Kante a eines Würfels a^3 sei um $\pm 0,001$ mm falsch bestimmt, so wird hierdurch das Volumen um $\pm 3 a^2 da = \pm 3 a^2 \cdot 0,001$ cmm falsch. Das bedeutet für 1 cdm eine Unsicherheit von $\pm 3 \cdot 100^2 \cdot 0,001 = \pm 30$ cmm, beziehungsweise eine Unsicherheit von $\pm 3 \cdot 10^{-5}$

des zu bestimmenden Körpers. Das entspricht bei einem Körper von der Dichtigkeit 1 und der Masse 1 kg einem Fehler von ± 30 mg, eine Größe die weit außerhalb der Wägungsunsicherheit liegt.

§ 69. Pyknometer. Hat ein Körper eine unregelmäßige Gestalt, so kann man sein Volumen dadurch bestimmen, daß man ihn in ein von regelmäßig geformten Wänden begrenztes, mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefülltes Gefäß untertaucht. Der scheinbare Volumenzuwachs der Flüssigkeit, der sich durch das Ansteigen der Flüssigkeit im Gefäß anzeigt, und sich nach geometrischen Regeln berechnen läßt, ist gleich dem Volumen des zu untersuchenden Körpers. Auch diese Methode der Volumenbestimmung ist keiner großen Genauigkeit fähig. Sie wird meist nur bei der Volumenbestimmung kleiner Körper angewendet. Benutzt wird dann ein Glasgefäß mit eingeriebenem Stopfen, in welchem ein geteiltes Kapillarrohr hochführt (Pyknometer). Das Gefäß ist mit einer Flüssigkeit gefüllt, welche beim Eindrücken des Stopfens bis zu einem bestimmten Teilstrich in der Kapillare hochsteigt. Nach Einbringen des Körpers wiederholt man das Verfahren und findet jetzt die Flüssigkeitsoberfläche an einer anderen Stelle der Kapillare stehen. Der Höhenunterschied, multipliziert mit dem anderweitig bestimmten Querschnitt der Kapillare (§ 75), gibt das gesuchte Volumen. — Über die ähnliche Bestimmung mit dem Volumenometer vgl. § 79.

§ 70. Volumen aus Masse und Dichtigkeit. Das Volumen kleiner regelmäßig gestalteter Körper, deren Dichtigkeit genügend genau bekannt ist, läßt sich in bequemer Weise durch Wägung bestimmen. Bezeichnet s die Dichtigkeit des Körpers, m seine mit Hilfe der Wägung in Luft ermittelte Masse, so ergibt sich sein Volumen V mittels der bekannten Beziehung

$$V = \frac{m}{s}.$$

Das Verfahren wird gerne zur Ermittlung des Volumens kurzer Drahtstücke angewendet. Ist die Länge l des Drahtes direkt gemessen, so ergibt sich der Querschnitt q als

$$q = \frac{V}{l}$$

mit einer Genauigkeit, die auf anderem Wege selten erreicht werden kann.

§ 71. **Volumenbestimmung durch Wägung in einer Flüssigkeit.** Wie schon im § 60 hervorgehoben wurde, erleidet ein Körper, wenn man ihn in eine Flüssigkeit bringt, nach dem Archimedesschen Prinzip einen Gewichtsverlust, welcher gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit ist. Dies gibt ein Mittel, um das Volumen eines Massenstücks zu bestimmen.

Zu diesem Zweck wird das Massenstück, nennen wir es A mit dem unbekanntem Volumen V_A , einmal gewogen, während es sich in Luft von der Dichte s , das andere Mal, während es sich in der Flüssigkeit von der Dichte d befindet. Dabei ergebe sich sein Gewicht im ersteren Falle gleich demjenigen der Masse B vom Volumen V_B , die, wenn man das Stück A in Wasser taucht, zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts um eine Masse b vom Volumen V_b verringert werden muß.

Dann gelten die Massengleichungen

$$(A - V_A s) = (B - V_B s) \dots \dots \dots 1)$$

$$(A - V_A d) = (B - V_B s) - (b - V_b s) \dots \dots \dots 2)$$

Durch Subtraktion erhält man

$$V_A (d - s) = b - V_b s$$

und hieraus

$$V_A = \frac{b - V_b s}{d - s}.$$

Hierbei ist vorausgesetzt, daß die Dichte der Luft von einer Wägung zur anderen ungeändert geblieben ist; ist das nicht der Fall, gilt vielmehr für die zweite Gleichung ein s' an Stelle von s , so ist der Ausdruck für V_A weniger einfach, bequemer ist es dann V_A und A aus beiden Gleichungen durch sukzessive Annäherungen zu berechnen.

d und s bedeuten Dichten, d. h. Massen in der Volumeneinheit. Nun identifiziert man in der Regel den Zahlenfaktor der Dichte mit dem spezifischen Gewicht D , d. h. mit derjenigen Zahl, welche angibt, um wieviel die betreffende Flüssigkeit schwerer ist als ein gleich großes Volumen Wasser im Zustande seiner größten Dichte. Streng genommen ist diese Identifizierung jedoch nicht erlaubt, denn sie setzt voraus, daß 1 ccm Wasser im

Zustand seiner größten Dichte die Masse 1 g habe, daß also das Gramm auch wirklich seinem Definitionswerte entspricht, was in der Tat nicht der Fall ist (§ 8). Trotzdem bietet die Identifizierung beider Zahlenreihen auch jetzt, wo man genauere Kenntnis von dem Verhältnis des Gramms zu seinem Definitionswert hat (§ 83), den Vorteil der Bequemlichkeit; es ist dann aber zu beachten, daß man das gesuchte Volumen nicht in ccm, sondern in ml erhält.

Im allgemeinen werden die Volumenbestimmungen durch Wägung im Wasser ausgeführt. Befindet sich das Wasser im Zustand seiner größten Dichte, die sehr nahe bei 4° C liegt, so ist $D = 1$. Bei allen anderen Temperaturen ist $D < 1$ und kann aus der am Schluß dieses Buches abgedruckten Tabelle 5 entnommen werden.

§ 72. Dichte des Wassers. Die Dichte oder richtiger gesagt das spezifische Gewicht des Wassers ist auf dreierlei Weise bestimmt worden.

An die Erörterungen des § 71 schließt sich unmittelbar die Methode der Wägung an. Wägt man ein und dasselbe Massenstück in Luft und in Wasser von verschiedenen Temperaturen, so erhält man außer der Gleichung (§ 71)

$$(A - V_A s) = (B - V_B s)$$

eine Reihe von Gleichungen von der Form

$$(A - V_A d_t) = (B - V_B s) - (b - V_b s),$$

in denen V_A und die d_t unbekannt sind. Es ist aber zu beachten, daß V_A nicht in allen Gleichungen denselben Wert hat. Ändert sich die Temperatur des Wassers, so ändert sich auch die Temperatur des in ihm befindlichen Massenstückes und das Volumen V_A nimmt den Wert $V_A(1 + 3\alpha t)$ an, wo 3α den kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Massenstückes A bedeutet. Die Anwendbarkeit der Methode setzt also ein Massenstück A voraus, dessen Wärmeausdehnung auf anderem Wege sicher bestimmt ist.

Aber auch abgesehen hiervon enthalten die n durch das Experiment gegebenen Gleichungen n Größen d_t sowie V_A , insgesamt $n + 1$ Unbekannte. Hierin liegt eine Unbestimmtheit, die aber nur scheinbar ist; denn zu den n Gleichungen tritt noch die Bedingungsgleichung hinzu, daß die kontinuierlich mit der Tem-

peratur verlaufende Funktion d_t , deren Form allerdings erst aus den Beobachtungen selbst zu erschließen ist, ein Maximum hat, in dessen Nähe sie den Wert 1 besitzt. Das spezifische Gewicht D_t hat in dem Maximum den Wert 1.

Als zweite Methode der Bestimmung der Dichte des Wassers kommt die dilatometrische in Betracht. Das Wasser befindet sich in einem thermometerähnlichen Gefäße; seine Volumenänderung mit der Temperatur wird entweder in einer angesetzten Kapillare verfolgt, oder man benutzt das gewichtsthermometrische Prinzip, indem man das sich ausdehnende Wasser aus dem Thermometer konstanten Volumens austreten läßt und wägt. Zweckmäßig ist es in diesem Falle, eine konstante Menge Wasser in dem Dilatometer durch Quecksilber abzuschließen und das ausgestoßene Quecksilber durch Wägung zu bestimmen.

Nach der dilatometrischen Methode wird nur die scheinbare Ausdehnung des Wassers im Dilatometer bestimmt, d. h. die wahre Ausdehnung vermindert um die Ausdehnung des Dilatometers, welche dieses ebenfalls mit der Erwärmung erleidet. Um das wahre Volumen V_t des Wassers zu erhalten, muß man also das Volumen des Dilatometers und dessen Änderung mit der Temperatur kennen und in Rechnung ziehen. Das Volumen V_t des Wassers hat entsprechend dem Dichtemaximum desselben in der Nähe von 4° C ein Minimum; bezeichnet man dies kleinste Volumen mit V_{min} , so wird das gesuchte spezifische Gewicht

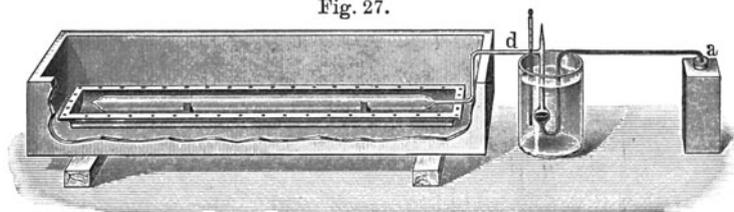
$$D_t = \frac{V_{min}}{V_t}.$$

In sehr vollkommener Weise ist die dilatometrische Methode neuerdings von Chappuis ¹⁾ angewendet. Um die Unsicherheit zu umgehen, die darin beruht, daß man bei solchen Messungen über die Ausdehnung des Gewichtsthermometerreservoirs Annahmen machen muß, welche von anderen, noch dazu anders gestalteten Glasgefäßindividuen abgeleitet sind, benutzte Chappuis ein mehr als 1 m langes Gewichtsthermometergefäß von etwa 1 Liter Inhalt, das horizontal gelagert und in 1 m Entfernung mit Strichen versehen war, so daß es möglich wurde, die Ausdehnung des Gefäßes selbst auf dem Komparator zu bestimmen. Das

¹⁾ P. Chappuis, Trav. et Mém. du Bureau intern. des Poids et Mes. 13, 40 S. 1904 (1907). Zeitschr. f. Instrumentenk. 28, 374 bis 375 (1908).

Thermometergefäß setzte sich (Fig. 27) nach d hin in ein U-förmiges Rohr mit einer eingeschalteten kugelförmigen Erweiterung fort, welches seinerseits wieder in einer horizontalen, am Ende leicht nach unten umgebogenen Kapillare seine Fortsetzung fand. Das U-förmige Rohr war bis zur Hälfte der kugelförmigen Erweiterung mit Quecksilber gefüllt, welches das auf die Ausdehnung zu untersuchende Wasser abschloß. Die Abgleichung der Wassermenge erfolgte mit Zuhilfenahme der in der Figur sichtbaren Spitze, die hernach abgeschmolzen wurde. Bei Ausdehnung bzw. Zusammenziehung des Wassers wurde Quecksilber in das am Ende der Kapillare untergesetzte Näpfchen ausgestoßen bzw. von dort angesaugt; kleinere Volumenänderungen des

Fig. 27.



Wassers wurden verfolgt, indem man nach Erwärmung über die gewollte Beobachtungstemperatur das Quecksilber bei a abreißen ließ und nun den Stand des Meniskus in der zu diesem Zwecke kalibrierten horizontalen Kapillare beobachtete. Die Versuche wurden mit Gefäßen teils aus Glas, teils aus Platiniridium angestellt. Seine Untersuchungsergebnisse hat Chappuis durch die folgenden Interpolationsformeln dargestellt:

gültig zwischen 0° und $10,3^{\circ}$:

$$\frac{V_t}{V_0} - 1 = (-67,464\,645 \cdot t + 8,934\,223 \cdot t^2 - 0,078\,919\,46 \cdot t^3) \cdot 10^{-6};$$

gültig zwischen $10,3$ und 13° :

$$\frac{V_t}{V_0} - 1 = (-54,7835 - 55,242\,760 \cdot t + 7,945\,055 \cdot t^2 - 0,048\,001\,50 \cdot t^3) \cdot 10^{-6};$$

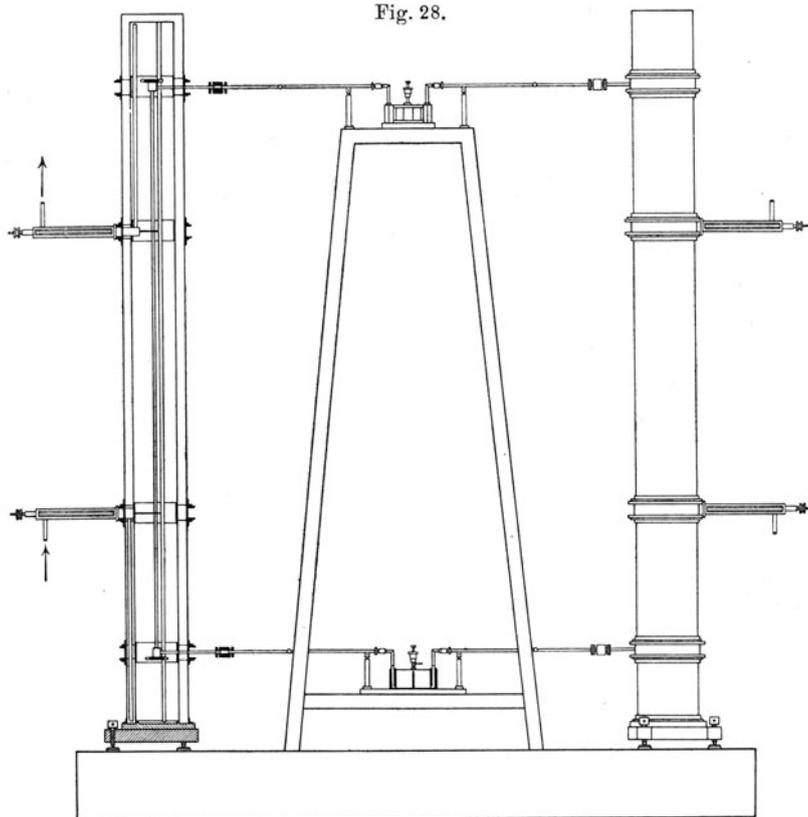
gültig zwischen 13 und 41° :

$$\frac{V_t}{V_0} - 1 = (-114,5565 - 42,940\,141 \cdot t + 7,106\,115 \cdot t^2 - 0,029\,057\,59 \cdot t^3) \cdot 10^{-6}.$$

Endlich ist das spezifische Gewicht des Wassers absolut nach der Methode der kommunizierenden Röhren bestimmt

worden¹⁾. Nach dem Grundprinzip der Methode sind die Längen zu messen, bei welchen zwei miteinander kommunizierende, verschieden temperierte Wassersäulen einander das Gleichgewicht halten; diese Längen verhalten sich umgekehrt wie die Dichten oder umgekehrt wie die spezifischen Gewichte der Wassersäulen.

Fig. 28.



In der praktischen Ausführung wurden die Längen der zu vergleichenden Säulen nahezu gleich gemacht und dafür die an den nicht kommunizierenden Enden auftretende Druckdifferenz durch

¹⁾ M. Thiesen, K. Scheel und H. Diesselhorst, *Wissensch. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt* 3, 1 bis 70 (1900).

ein Differentialmanometer gemessen, dessen beide Schenkel auf möglichst gleicher Temperatur gehalten wurden.

Der benutzte Apparat (Fig. 28 links im Durchschnitt, rechts in Ansicht) bestand aus zwei einander ganz gleichen und symmetrisch zueinander aufgebauten 3 m hohen Wasserbädern, welchen durch seitliche Ansätze von einem Thermostaten gleichmäßig temperiertes Speisewasser zugeführt wurde. Die Aus- und Eintrittsstellen des Speisewassers dienten gleichzeitig zur Einführung von Thermometern, mit denen die Temperatur im Innern der Bäder bestimmt wurde. Im Innern der Wasserbäder befanden sich die 2 m langen, vertikalen Teile des kommunizierenden Röhrensystems; seine horizontalen Teile führten nach Durchbrechung der Wasserbäder zu den mitten zwischen den beiden Bädern auf einem Eisengerüst montierten Wasserkästen. Der obere dieser Kästen diente nur zur direkten Verbindung der beiden Teile des oberen Horizontalrohres; der untere diente als Differentialmanometer, welches mittels zweier davor aufgestellter Mikroskope abgelesen wurde. Das Differentialmanometer war hinten durch eine mit durchgehenden horizontalen Teilstriichen versehene Glasplatte abgeschlossen; die Lage der Wasserkuppe wurde durch mikrometrische Einstellung eines direkt gesehenen Striches und seines Spiegelbildes in der Wasserkuppe abgeleitet (vgl. § 37, S. 52).

Zur Darstellung der Gesamtheit der Beobachtungsergebnisse zwischen 0° und 40° diente die Formel

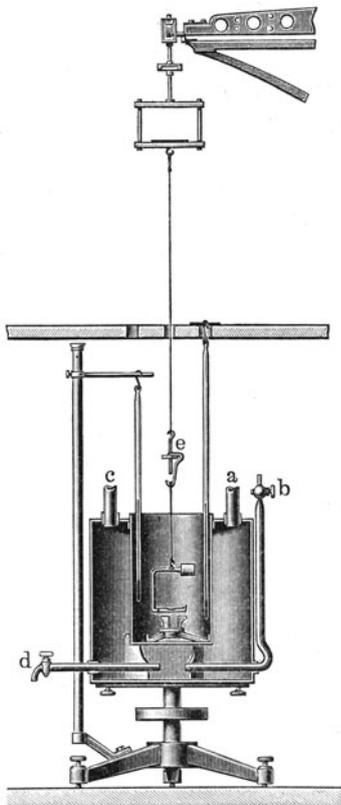
$$1 - D_t = \frac{(t - 3,98)^2}{503\,570} \cdot \frac{t + 283}{t + 67,26}.$$

Auf Grund dieser Formel sind in Tabelle 5 (Anhang) die spezifischen Gewichte berechnet worden. Die nach den Formeln von Chappuis berechneten Werte weichen von diesen Zahlen nur in höheren Temperaturen um wenige Einheiten der letzten Stelle ab.

§ 73. Ausführung hydrostatischer Wägungen. Die Wägung soll in destilliertem, gut von Luft befreitem Wasser vorgenommen werden, welches sich während der Wägung auf konstanter, genau meßbarer Temperatur befindet. Um Korrekturen nach Möglichkeit zu vermeiden, oder doch diese sehr klein zu machen, sind Vorrichtungen zu treffen, die das zu bestimmende Massenstück bequem und sicher unter Wasser vom Gehänge abzuheben und wieder aufzusetzen erlauben. Wie das geschehen

kann, möge an den im Bureau international des Poids et Mesures bei der Bestimmung der Volumina der Platiniridiumprototype benutzten, sehr vollkommenen Einrichtungen ¹⁾ erläutert werden,

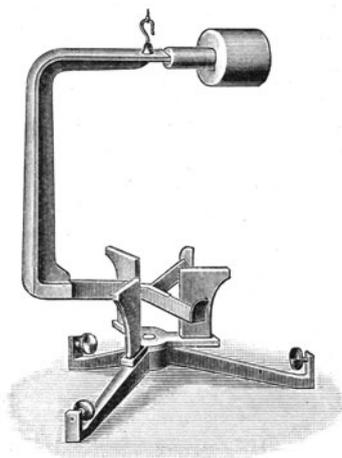
Fig. 29.



welche in Fig. 29 im Querschnitt wiedergegeben sind; Fig. 30 ist eine Detailskizze des im Wasser befindlichen Gehänges.

Das eigentliche, mit destilliertem Wasser gefüllte Wägungsgefäß steht in einem weiteren, zwecks Temperierung mit gewöhnlichem Wasser beschickten, allseitig geschlossenen Bade. Kommt es nur darauf an, eine

Fig. 30.



nahe bei Zimmertemperatur liegende konstante Temperatur zu halten, so wird der gewollte Zweck meist bereits durch die größere Masse des Badwassers ohne weiteres erreicht. Man hat dann nur, um Schichtungen verschieden temperierten Wassers zu vermeiden, für gutes Durchrühren des Badwassers zu sorgen. Bei der in

¹⁾ M. Thiesen, Kilogrammes prototypes. Trav. et Mém. du Bureau intern. des Poids et Mesures 9, C, 4 ff. (1899).

Fig. 29 abgebildeten Einrichtung wurde dies mittels Durchsaugens von Luft durch das Badwasser erreicht; zu diesem Zwecke dienten die verschiedenen Öffnungen *a*, *b*, *c*, *d* des Bades. Will man bei verschiedenen Temperaturen wägen, so muß man eine Zirkulation des Badwassers durch einen Thermostaten einführen oder das Bad elektrisch heizen (vgl. § 48). Das innere Wägungsgefäß kann vor Beginn der Wägungen mit einem Deckel luftdicht abgeschlossen und durch eine Öffnung im Deckel mit einer Wasserluftpumpe evakuiert werden. Auf diese Weise wird dem destillierten Wasser ein großer Teil der gelösten Gase entzogen; durch Anwärmen des Wassers während der Evakuierung kann der genannte Zweck in vollkommener Weise erreicht werden. Nach Einhängen des zu wägenden Körpers ist das innere Gefäß sorgfältig abzudecken, um Wärmeverluste nach außen einzuschränken. Bei höherer Temperatur empfiehlt sich ein Deckel mit doppeltem Boden, dessen Inneres unter Freilassung einer Öffnung für den Aufhängedraht an die Wasserzirkulation angeschlossen ist.

Das abgebildete Gehänge ist bestimmt, zylindrische Massenkörper stehend aufzunehmen. Der Massenkörper ruht im Gehänge auf drei Streben, welche durch einen mit dem Wassergefäß fest verbundenen dreizackigen Support hindurchgreifen. Durch Heben des ganzen Wassergefäßes mittels einer in der Fig. 29 sichtbaren Schraube hebt sich auch der Support und nimmt das Massenstück vom Gehänge ab; umgekehrt wird durch Senken des Wassergefäßes das Massenstück wieder auf das Gehänge aufgesetzt. Der Höhenunterschied beider Lagen des Wassergefäßes wird an einem nebenbei befestigten Maßstab gemessen und dient zur Bestimmung der Korrektur wegen der verschiedenen Eintauchtiefe des Aufhängedrahtes. Ist nämlich der Höhenunterschied beider Lagen des Wassergefäßes gleich h , der Querschnitt des Aufhängedrahtes q , so ist das Volumen des Drahtes, welches sich beim Abheben des Massenstückes im Wasser, beim Aufsetzen derselben in Luft befindet, hq . Als Material für den Aufhängedraht wählt man zweckmäßig schwarzmatiertes Platin oder Platiniridium, welches in der Wasseroberfläche stets gleichmäßig benetzt wird. Um Gehänge und Support in die richtige Lage zu einander zu bringen, dient eine Vorrichtung *e*, welche außerhalb des Wassergefäßes in den Aufhängedraht eingeschaltet ist, und welche gleichzeitig eine Verkürzung und eine Verlängerung des

Aufhängedrahtes gestattet. Die Massenstücke sollen ohne anhaftende Luftblasen in das Wassergefäß und auf das Gehänge gebracht werden; die sichere Erfüllung dieser Bedingung erfordert große Geschicklichkeit.

Die Wasserwägungen werden in der Weise ausgeführt, daß abwechselnd bzw. symmetrisch zur Mitte durch Hebung und Senkung des Wassergefäßes einschließlich des Supports das Massenstück A , dessen Gewicht (vgl. S. 126) in Luft gleich B gefunden war, vom Gehänge abgehoben und wieder aufgesetzt wird. Gleichzeitig muß, um einer passenden Tara auf der freien Wagschale das Gleichgewicht zu halten, auf der Seite des Gehänges in Luft eine Masse $C = B - b$ aufgesetzt bzw. wieder abgehoben werden. Die Masse $C = B - b$, welche nach den Regeln des § 53 aus nahe gleichen Belastungen zu interpolieren ist, stellt dann das Gewicht der Masse A im Wasser dar, und es wird somit

$$(A - V_A d_t) = (B - V_B s) - (b - V_b s),$$

das ist die Gleichung 2) von S. 126.

Berücksichtigt man, daß je nach der höheren oder tieferen Stellung des Wassergefäßes sich ein Teil des Aufhängedrahtes vom Volumen hq in Wasser oder Luft befindet, so ist die vorstehende Gleichung zu verbessern in

$$(A - V_A d_t) - hqs = (B - V_B s) - (b - V_b s) - hq d_t$$

oder

$$(A - V_A d_t) = (B - V_B s) - (b - V_b s) - hq(d_t - s).$$

Das Korrektionsglied $- hq(d_t - s)$ vereinfacht sich, da bei der Kleinheit von hq der Faktor $d_t - s$ mit genügender Annäherung $= 1$ gesetzt werden kann, zu $- hq$.

Der übrige Teil des Aufhängedrahtes sowie das Gehänge bedingt keine weitere Korrektion; ihr Einfluß wird vielmehr durch eine symmetrische Anordnung der Wägung eliminiert. Sie spielen dieselbe Rolle wie die Schalen einer Wage für die gewöhnliche Wägung. Dagegen kann eine Korrektion, welche davon herrührt, daß die Massen in den verschiedenen Teilen der Wägung eine verschiedene Höhenlage einnehmen (§ 59), einen nennenswerten Betrag erreichen.

§ 74. **Bestimmung der kubischen Ausdehnung eines Körpers durch hydrostatische Wägung.** Im Eingang des § 72 war hervorgehoben, daß bei der Bestimmung der Dichteänderung des Wassers mit der Temperatur die Wärmeausdehnung des Wägungskörpers bekannt sein müsse. Ist umgekehrt die Dichte d_t des Wassers bei wechselnder Temperatur einmal bekannt (vgl. Tab. 5 im Anhang), so können die experimentell abgeleiteten Gleichungen

$$(A - V_A d_t) = (B - V_B s) - (b - V_b s)$$

dazu dienen, die Volumina V_A des Versuchskörpers bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen. Mit Hilfe der Gleichung

$$V_{A,t} = V_{A,0} (1 + 3 \alpha t)$$

kann man dann den kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Versuchskörpers berechnen. Der dritte Teil von 3α ist bis auf Größen, die von höherer Ordnung klein sind, gleich dem linearen Ausdehnungskoeffizienten, zu dessen direkter Bestimmung andere Methoden (vgl. Abschn. II) dienen.

§ 75. **Bestimmung eines Gefäßinhaltes durch Wägung.** Die genaueste Methode, die Innenvolumina von Hohlgefäßen zu bestimmen, ist diejenige der Wägung. Nennt man das Volumen des Gefäßes bei 0° V_0 , so ist das Volumen bei t° , wenn α den linearen, 3α den kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Gefäßmaterials bedeutet:

$$V_t = V_0 (1 + 3 \alpha t).$$

Ist das Gefäß mit einer Flüssigkeit von der Dichte d_t gefüllt, so ist die Masse des Inhalts, die man durch Differenzwägung des leeren und des gefüllten Gefäßes bestimmt:

$$M = V_0 (1 + 3 \alpha t) \cdot d_t,$$

woraus sich V_0 berechnen läßt. Als Flüssigkeiten zum Auswägen benutzt man Wasser und Quecksilber, das erstere, wenn es sich um größere Volumina handelt und eine geringere Genauigkeit beansprucht wird; Quecksilber, welches noch den Vorteil hat, Glasgefäße nicht zu benetzen, liefert mehr als zehnmal genauere Resultate. Über die Werte von d_t für Wasser vgl. Tab. 5 im Anhang; die Bestimmung der Dichte des Quecksilbers (vgl. Tab. 4 im Anhang) ist in § 77 noch besonders behandelt. Übrigens sei auch hier wieder darauf aufmerksam gemacht, daß die Tab. 4 und 5

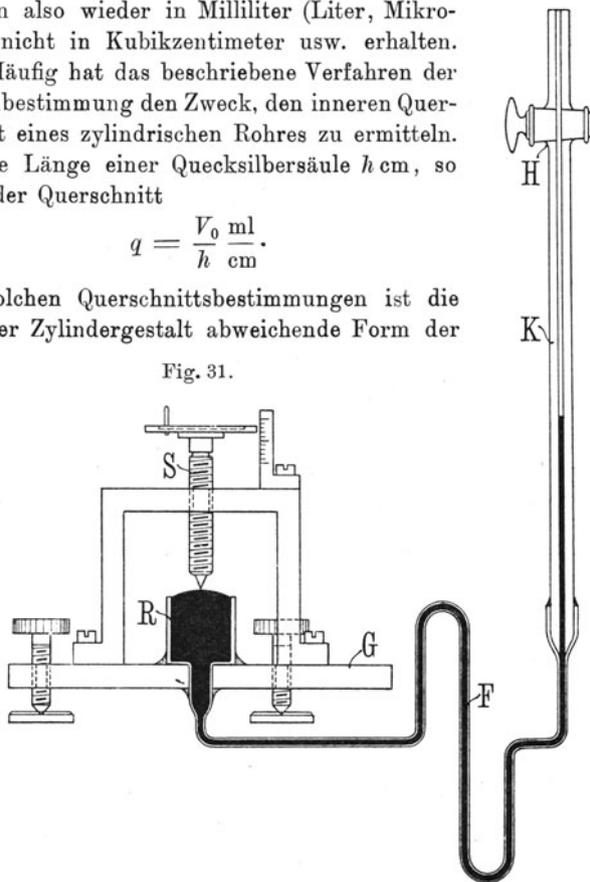
spezifische Gewichte (bezogen auf Wasser im Zustande seiner größten Dichte) enthalten, keine Werte der Dichte; die Volumina werden also wieder in Milliliter (Liter, Mikroliter) nicht in Kubikzentimeter usw. erhalten.

Häufig hat das beschriebene Verfahren der Volumbestimmung den Zweck, den inneren Querschnitt eines zylindrischen Rohres zu ermitteln. Ist die Länge einer Quecksilbersäule h cm, so wird der Querschnitt

$$q = \frac{V_0 \text{ ml}}{h \text{ cm}}.$$

Bei solchen Querschnittsbestimmungen ist die von der Zylindergestalt abweichende Form der

Fig. 31.



Quecksilbermenisken zu berücksichtigen und die Länge der Quecksilbersäule entsprechend zu modifizieren. Bei Kapillarröhren und Röhren mäßiger Weite mag man die Menisken als Halbkugeln in Rechnung ziehen; bei größeren Rohrweiten bediene man sich der in Tabelle 6 (Anhang) mitgeteilten Zahlen¹⁾. Die Zahlen wurden

¹⁾ Karl Scheel und Wilhelm Heuse, Ann. d. Phys. (4) 33, 291 bis 295, (1910).

gefunden, indem der Meniskus (vgl. Fig. 31) am oberen, glatt abgeschliffenen Ende eines vertikal auf eine Grundplatte aufgekitteten Rohres R erzeugt wurde. Zu diesem Zwecke kommunizierte das Rohr durch eine Glasfeder F mit einem vertikal aufgestellten engen Glasrohr K , das am oberen Ende durch einen Hahn H abgeschlossen werden konnte. Durch Druckänderung im Rohre K konnte Quecksilber zwischen K und R bewegt und der Meniskus oberhalb R in beliebiger Höhe eingestellt werden. Die übergeführten Quecksilbermengen ergaben sich aus den Niveauänderungen der Quecksilberkuppe in K , welche an einem hintergelegten Maßstab abgelesen wurden, und der durch Auswägung bestimmten Weite des Kapillarrohres K .

§ 76. Bestimmung der Wärmeausdehnung eines Hohlkörpers durch Wägung. In § 75 war die Masse eines Hohlvolumens angegeben als

$$M_t = V_0(1 + 3\alpha t) \cdot d_t.$$

Führt man außer einer Bestimmung bei t^0 eine solche bei 0^0 aus, wodurch man erhält

$$M_0 = V_0 \cdot d_0,$$

so folgt durch Divison

$$\frac{M_t}{M_0} = (1 + 3\alpha t) \frac{d_t}{d_0},$$

woraus sich 3α , der kubische Ausdehnungskoeffizient des Gefäßes, berechnen läßt.

§ 77. Dichte des Quecksilbers. Die Dichte des Quecksilbers ist in derselben Weise zu bestimmen, wie diejenige des Wassers (§ 72). Wie dort ist die Dichteänderung mit der Temperatur gegen die Dichte bei einer Normaltemperatur (0^0) zu ermitteln, außerdem ist aber noch die Dichte bei dieser Normaltemperatur auf die Dichte der Normalsubstanz, Wasser, zu beziehen. Auch im Falle des Quecksilbers ist der direkten Bestimmung wieder nicht die Dichte, sondern nur das spezifische Gewicht zugänglich.

Aus Wägungen fanden Thiesen und Scheel¹⁾ das spezi-

¹⁾ Thiesen und Scheel, Tätigkeitsbericht der Phys.-Techn. Reichsanstalt in der Zeit vom 1. Februar 1897 bis 31. Januar 1898. Zeitschr. für Instrumentenk. 18, 138 (1898).

fische Gewicht des Quecksilbers bei 0°, bezogen auf Wasser größter Dichte gleich 13,59545.

Die Änderung der Dichte des Quecksilbers mit der Temperatur ist von Regnault nach der Methode der kommunizierenden Röhren bestimmt worden. Seine Messungen genügen indessen nicht mehr den heutigen Ansprüchen an Genauigkeit und müssen darum von weiteren Betrachtungen ausscheiden.

Dagegen ist die Dichteänderung des Quecksilbers neuerdings von Chappuis¹⁾ ebenso wie diejenige des Wassers (§ 72, S. 128) nach der gewichtsthermometrischen Methode mit dem höchsten Grade der Genauigkeit bestimmt worden. Die Apparatur war der beim Wasser benutzten sehr ähnlich. Als Gefäß des Gewichtsthermometers diente ein etwa 1 m langes Rohr von 963 ml Inhalt aus hartem französischem Glase (*verre dur*), dessen lineare Ausdehnung komparatorisch ermittelt wurde. Chappuis fand zwischen 0° und 100° in der Skale des Wasserstoffthermometers

$$\frac{V_t}{V_0} - 1 = 1,8169041 \cdot 10^{-4} \cdot t - 2,951266 \cdot 10^{-9} \cdot t^2 + 1,14562 \cdot 10^{-10} \cdot t^3.$$

Auch der Gang der Quecksilberthermometer, d. h. ihre Abweichung vom Wasserstoffthermometer, erlaubt die Ausdehnung des Quecksilbers relativ zu derjenigen des Thermometerglases und, wenn die letztere bekannt ist, die absolute Ausdehnung des Quecksilbers zu berechnen. Auf diesem Wege fanden Thiesen, Scheel und Sell²⁾ gleichfalls zwischen 0° und 100° in der Wasserstoffskale

$$\frac{V_t}{V_0} - 1 = 1,8161 \cdot 10^{-4} \cdot t + 7,8 \cdot 10^{-9} \cdot t^2.$$

Mit dem Mittel der aus beiden Formeln folgenden Werte für die Wärmeausdehnung in Verbindung mit dem Thiesen-Scheelschen Wert für das spezifische Gewicht des Quecksilbers bei 0° ist die Tabelle 4 (Anhang) berechnet.

§ 78. Volumenometer. Nicht immer sind die unbekanntes Volumina der direkten Bestimmung durch Auswägung zugäng-

¹⁾ P. Chappuis, Journ. de phys. (4) 4, 12 (1905); Trav. et Mem. du Bureau intern. des Poids et Mesures 13, C, 31 S. (1903).

²⁾ M. Thiesen, K. Scheel, L. Sell, Wiss. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt 2, 184 (1895).

lich. In solchem Falle kann man sich oft mit Vorteil einer Methode bedienen, welche sich auf die Gültigkeit des Mariotteschen Gesetzes stützt, deren Genauigkeit aber derjenigen durch Auswägen ganz erheblich nachsteht. Betrachtet man eine abgeschlossene Gasmasse vom Volumen V , welches unter dem Drucke p steht, so ändern sich bei Kompression oder Dilatation Druck und Volumen innerhalb weiter Gültigkeitsgrenzen in der Weise, daß

$$p \cdot V = \text{const},$$

d. h. also, daß das Produkt aus Druck und zugehörigem Volumen konstant bleibt.

Wir denken uns jetzt ein zu bestimmendes unbekanntes Volumen V_x ; wir verbinden es mit einem zweiten bekannten, etwa durch Auswägung bestimmten Volumen V derart, daß die Verbindung etwa durch einen zwischengeschalteten Hahn oder einen Quecksilberabschluß unterbrochen werden kann. Außerdem besteht vom Volumen V eine Verbindung zu einem Manometer und zu einer Luftpumpe. — Das ganze System wird zunächst luftleer gepumpt; dann wird in V Luft eingelassen und der Druck p derselben am Manometer gemessen. Stellt man jetzt die Verbindung zwischen V und V_x her, so wird sich auch V_x von V mit Luft füllen und zwar wird V solange an V_x Luft abgeben, bis der Druck in beiden Räumen gleich ist; dieser gleiche Druck sei am Manometer zu p' gemessen. Dann gilt nach dem Mariotteschen Gesetz

$$p V = p' (V + V_x) = \text{const},$$

woraus folgt

$$V_x = V \frac{p - p'}{p'}.$$

Die Genauigkeit der Volumenbestimmung von V_x hängt in erster Linie natürlich von der Begrenzbarkeit des Volumens ab, dann aber auch von der Genauigkeit, mit der V selbst bekannt ist, und von der Genauigkeit der Druckmessung. Außerdem läßt sich V_x um so sicherer bestimmen, je kleiner es im Verhältnis zu V ist.

Die Methode setzt konstante Temperatur während des Versuches voraus. Um Störungen durch die bei der Volumänderung des Gases auftretende Kompressionswärme möglichst zu ver-

ringern, arbeitet man mit sehr geringen Gasdrucken. Allerdings steigen dadurch die Anforderungen an die Methoden zur Messung solcher kleinen Gasdrucke ¹⁾.

Während das eben skizzierte Verfahren zur Bestimmung des Volumens unbekannter Räume die Gültigkeit des Mariotteschen Gesetzes annimmt, ist ein von Lord Rayleigh ²⁾ angegebenes Verfahren von dieser Beschränkung frei. Die Rayleighsche Methode beruht auf der Überlegung, daß zwei verschiedene Gasvolumina, vom gleichen Anfangsdruck auf einen gleichen Enddruck gebracht, sich im gleichen Verhältnis ändern. Seien die beiden Anfangsvolumina V und $V + b$, die Endvolumina $V + a$ und $V + c$, so gilt

$$\frac{V}{V + a} = \frac{V + b}{V + c},$$

wobei V und $V + b$ als unter gleichem Druck p_1 , $V + a$ und $V + c$ unter dem gleichen Druck p_2 stehend gedacht sind. Aus diesen Gleichungen wird V mit größtmöglicher Genauigkeit bestimmt, wenn $a = b$ und $V = a$ gewählt wird.

Das Verfahren fordert also zur Bestimmung des unbekanntem Volumens V das Vorhandensein von wenigstens drei bekannten Volumina a , b , c . In der praktischen Ausführung der Methode wird es häufig vorteilhaft sein eine Reihe bekannter nahe gleicher Volumina, durch kurze Kapillarstücke verbunden, vertikal übereinander und unterhalb des unbekanntem Volumens anzuordnen; die verschiedenen bekannten Volumina werden dann ab- oder zugeschaltet, indem man sie durch hochsteigendes oder fallendes Quecksilber füllt oder freimacht.

Die obige Gleichung setzt voraus, daß die zu den V und $V + b$ gehörigen Drucke p_1 , sowie die zu $V + a$ und $V + c$ gehörigen Drucke p_2 unter sich gleich sind. Soweit diese Bedingung praktisch nicht vollkommen realisierbar ist, muß zur Reduktion auf gleiche Drucke eine Korrektion angebracht werden, zu deren Berechnung nach Lord Rayleighs Vorgang die Gültigkeit des Mariotteschen Gesetzes angenommen werden darf.

¹⁾ Über die Messung kleiner Gasdrucke vgl. u. a. Karl Scheel und Wilhelm Heuse, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. **11**, 1 bis 15 (1909); Zeitschr. f. Instrumentenk. **29**, 14 bis 20, 344 bis 349 (1909).

²⁾ Lord Rayleigh, Phil. Trans. (A) **196**, 215 (1901).

Als Beispiel sei die Bestimmung eines unbekanntes „schädlichen“ Volumens angeführt, als welches man häufig ein der Auswägung nicht zugängliches Volumen bezeichnet. Zunächst war nur das schädliche Volumen V eingeschaltet, welches aus dem Manometerraum selbst und der Rohrzuführung zu diesem bestand. Es ergab sich ein Druck von 1,0105 mm. Dann wurde das Volumen $a = 200$ ccm zugefügt; der Druck am Manometer sank dadurch auf 0,5745 mm. Jetzt wurde das Zusatzvolumen a auf $b = 300$ ccm vergrößert und zugleich der Druck im ganzen Raum so dosiert, daß er dem ursprünglichen in V befindlichen nahe gleich war; gemessen wurde für $V + b = V + 300$ ccm der Druck 1,0106 mm. Endlich wurde das Zusatzvolumen abermals soweit vergrößert, und zwar auf $c = 720$ ccm, daß man einen dem früheren Druck 0,5745 mm nahe gleichen Druck erhielt, welcher durch Messung zu 0,5789 mm ermittelt wurde. Dann gilt auf Grund der mitgeteilten Überlegungen für die Berechnung von V folgende Gleichung:

$$\frac{1,0105}{0,5745} \cdot \frac{V}{V + 200} = \frac{1,0106}{0,5789} \cdot \frac{V + 300}{V + 720},$$

woraus folgt $V = 263,5$ ccm. Vier andere Reihen ergaben die Werte

$$263,7; 266,9; 261,2; 262,6 \text{ ccm.}$$

Der Mittelwert aller Bestimmungen ist

$$V = 263,6 \pm 0,6 \text{ ccm.}$$

§ 79. Bestimmung äußerer Volumina mit dem Volumenometer. Das Verfahren beruht prinzipiell darauf, daß man das Volumen eines Gefäßes nach den im § 78 beschriebenen Methoden einerseits seinem ganzen Betrage nach bestimmt, andererseits nachdem es durch Einbringen des unbekanntes Körpers verkleinert ist. Die Differenz der gefundenen Volumina ist dann gleich dem Volumen des unbekanntes Körpers. Das Verfahren dient zur Bestimmung des Volumens von Körpern, welche durch Wasser angegriffen werden und deshalb eine Volumenbestimmung durch Wägung nicht aushalten. Auch diese Methode ist nur einer geringen Genauigkeit fähig.

Wegen der verschiedenen Formen von Volumenometern, welche für den vorliegenden Zweck erdacht sind, möge auf die physikalischen Lehrbücher verwiesen werden.

Sechster Abschnitt.

Sicherungen des metrischen Maßsystems.

§ 80. **Interferenzerscheinungen.** Die Interferenzerscheinungen haben in der Metronomie bereits vielfach Verwendung gefunden. Insbesondere werden sie in ausgiebigem Maße bei den im folgenden zu besprechenden Meßmethoden benutzt, so daß ein kurzes Eingehen auf diese Erscheinungen am Platze sein dürfte.

Messungen mit der einen Art von Interferenzen sind schon im § 46 behandelt. Man benutzte dort die sogenannten Fizeauschen Streifen, welche einen Spezialfall der Newtonschen Ringe bilden. Sie treten überall dort auf, wo optisch ebene, mit monochromatischem Licht beleuchtete Flächen einen passenden kleinen Winkel miteinander bilden, und lassen sich als Kurven oder Streifen charakterisieren, welche gleiche Dicke der zwischen den Flächen befindlichen Luftschicht, der „Luftplatte“, anzeigen. Von einem Intensitätsminimum zum nächsten wechselt die Dicke der Luftplatte um eine halbe Wellenlänge. Ändert man die Dicke der Luftplatte, indem man die eine Fläche parallel mit sich verschiebt, so beginnen die Streifen zu wandern, und zwar entspricht wieder eine Verschiebung des Systems um die Entfernung zweier benachbarter Streifen einer Dickenänderung der Luftplatte um eine halbe Wellenlänge des benutzten monochromatischen Lichtes.

Es war schon darauf hingewiesen worden (vgl. Anm. S. 77), daß man mit Fizeauschen Streifen nicht nur die Dickenänderungen einer von planen Flächen begrenzten Luftplatte bestimmen kann, sondern auch deren absolute Dicke. Zu diesem Zwecke denkt man sich die planen Flächen bis zur Berührung genähert; es müssen dann die Interferenzsysteme aller etwa benutzten Spektralfarben im Berührungspunkte ihren Ursprung haben, d. h. die Berührungsstelle hat für alle Spektralfarben denselben Inter-

ferenzzustand, und zwar sollte man annehmen, daß in der Berührungsstelle, wo der Phasenunterschied zweier interferierender Lichtstrahlen Null ist, dieser gemeinsame Interferenzzustand ein Intensitätsmaximum ist. Dem ist aber nicht so; in Wirklichkeit tritt, wenn ein Lichtstrahl in Glas gegen Luft reflektiert wird (nicht umgekehrt), ein Phasensprung von einer halben Wellenlänge auf, der in Rechnung zu ziehen ist. Demnach herrscht an der Berührungsstelle der Flächen zwischen den beiden interferierenden Strahlen ein Phasenunterschied von einer halben Wellenlänge; die Berührungsstelle muß also dunkel erscheinen.

Die Berührung zweier zueinander geneigter planer Flächen läßt sich in Wirklichkeit nicht ausführen, da das ja auf ein gegenseitiges Durchdringen beider Flächen hinauslaufen würde. Wir werden aber später sehen, daß man diesen Fall des Durchdringens der Flächen im virtuellen Bilde sehr wohl bei Messungen benutzt. Dagegen kann man die Wirkung des Phasensprunges erkennen, wenn, wie bei der Darstellung der Newtonschen Ringe, die eine der beiden optischen Flächen sphärisch gekrümmt ist. Man erhält dann in der Mitte des Ringsystems für alle Spektralfarben ein Intensitätsminimum; die Mitte ist dunkel.

Man kann die Interferenzerscheinung auch mit weißem Licht hervorrufen. In diesem Falle erhält man keine scharfbegrenzten schwarzen Streifen, sondern statt ihrer farbige Streifen, welche kontinuierlich ineinander übergehen. Nur in der Berührungslinie beider Flächen, d. h. der Linie, in welcher sich die eine Fläche mit dem virtuellen Bilde der anderen schneidet, sieht man einen farblosen Streifen, der wegen des erwähnten Phasensprunges nicht weiß, sondern schwarz ist. Diese schwarze Linie ist mit Sicherheit daran zu erkennen, daß die Farben symmetrisch um sie verteilt sind. Es ist das für metronomische Messungen von Wichtigkeit, weil sich dadurch der Abstand Null beider Flächen längs einer bestimmten Schnittlinie mit größter Schärfe feststellen läßt.

Außer den Fizeauschen Streifen ist für die Metronomie eine andere Art von Interferenzkurven von großer Bedeutung geworden, welche zwischen zwei ebenen, einander genau parallelen Flächen auftreten. Beleuchtet man die Flächen mit einem parallelen monochromatischen Lichtbündel, so treten wiederum Strahlen, welche an der einen Fläche reflektiert sind, mit solchen, die von der anderen Fläche zurückgeworfen wurden, in Interferenz und

das Gesichtsfeld erscheint von schwarzen Interferenzkurven durchzogen. Durch geometrische Überlegungen läßt sich nachweisen, daß bei Betrachtung der Erscheinung mit einem Fernrohr, dessen Achse auf den Flächen senkrecht steht, die Interferenzkurven „Kurven gleicher Neigung“ sind und die Form von Kreisen haben, deren Zentrum von solchen Strahlen gebildet wird, welche senkrecht auf die Flächen auffallen. Der Gangunterschied zweier interferierender Strahlen wird zu

$$2 d \cos \delta$$

gefunden, wo d die Dicke der Luftplatte, δ den Einfallswinkel der Strahlen bezeichnet. Beim Übergang von einem Interferenzring zum nächsten ändert sich $2 d \cos \delta$ um eine Wellenlänge λ . — Nähert man die optischen Flächen einander, so ziehen sich die Ringe zusammen und verschwinden im Zentrum, und jedesmal, wenn ein Ring im Zentrum verschwunden ist, hat dort der Phasenunterschied der interferierenden Strahlen um λ abgenommen, der Abstand der Flächen hat sich also um $\lambda/2$ verringert.

Da der Gangunterschied $2 d \cos \delta$ zwischen zwei aufeinander folgenden Ringen um λ abnimmt, so folgt, daß, je kleiner d ist, um so größere Unterschiede von δ nötig sind, um diesen Gangunterschied hervorzubringen. Die Ringe liegen also um so weiter auseinander, je mehr die Flächen einander genähert werden; bei Berührung der Flächen wird der Abstand der Ringe unendlich groß.

Die an planparallelen Luftplatten beobachtbaren Interferenzerscheinungen sind von Haidinger entdeckt und nach ihm benannt.

§ 81. Auswertung des Meters in Lichtwellenlängen. Versuche von Michelson¹⁾. Zur Veranschaulichung der Versuche von Michelson diene die nebenstehende Fig. 32. Es seien C' und c zwei spiegelnde Flächen. Auf diese Flächen falle von A aus durch einen durchlässig versilberten Spiegel P ein monochromatischer Lichtstrahl AB ; derselbe werde von beiden Flächen reflektiert, beide Strahlenanteile dann vom Spiegel P nach

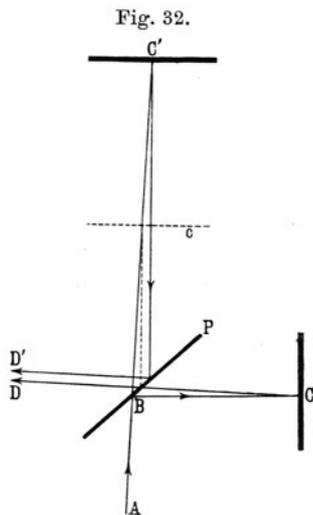
¹⁾ A. A. Michelson, Détermination expérimentale de la valeur du mètre en longueurs d'ondes lumineuses. Trav. et Mém. du Bur. intern. des Poids et Mes. 11 (1895); Auszug von P. Culmann, Zeitschr. f. Instrumentenk. 22, 293 bis 311 (1902).

DD' geworfen, wo Interferenz beobachtet wird. Je nachdem C' und c einander parallel sind, oder einen schwachen Keilwinkel miteinander bilden, erhält man Haidingersche Ringe oder Fizeausche Streifen.

Statt C' und c hintereinander anzuordnen, verlegt Michelson die spiegelnde Fläche c in C ; der Strahlengang bleibt dann für den an C' reflektierten Anteil derselbe $AB C' D'$. Der andere Anteil des Strahles AB wird dagegen jetzt an B reflektiert, fällt auf C , wird dort wieder reflektiert, durchsetzt den Spiegel P und gelangt so ebenfalls nach D . Die Wirkung der ganzen Anordnung ist also dieselbe, wie wenn die Ebene C nach wie vor in c läge. Man erreicht aber durch die Verlegung der Ebene c nach C mehrere Vorteile, deren wesentlichster darin besteht, daß man bei Verschiebung von C oder C' parallel mit sich selbst C' mit dem virtuellen Bilde von C in c zur Deckung oder zum Durchdringen bringen kann.

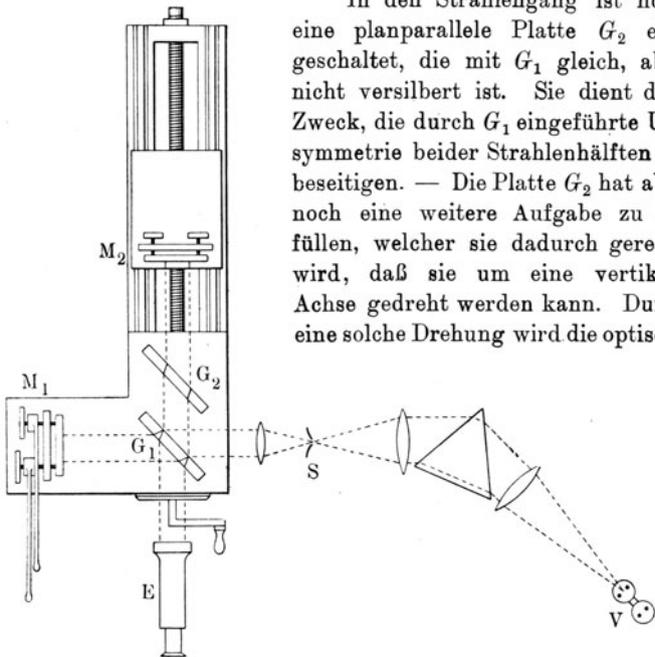
Fig. 33 gibt die wirkliche Anordnung der Michelsonschen Versuche, das Michelsonsche „Interferometer“, wieder. Das von einer Lampe V ausgesandte Licht durchsetzt einen Prismenapparat und tritt durch einen Spalt S auf die planparallele Glasplatte G_1 , entsprechend der Glasplatte P der Fig. 32. G_1 ist auf der einen Fläche schwach versilbert, so daß die Hälfte des auffallenden Lichtes reflektiert, auf den Spiegel M_2 (entsprechend C in Fig. 32) geworfen und wieder reflektiert wird. Die andere Hälfte des auf G_1 auffallenden Lichtes fällt auf M_1 (entsprechend C' in Fig. 32), wird dort sowie auf der Vorderseite von G_1 nochmals reflektiert und gelangt wie der von M_2 kommende Anteil in das Fernrohr E , wo die Interferenz beider Strahlenhälften beobachtet wird.

Die Spiegel M_1 und M_2 sind durch Schrauben sowie durch auf Federn wirkenden Wasserdruck fein verstellbar und gegen-



einander justierbar. Um die Dicke der von M_1 und dem virtuellen Bild von M_2 gebildeten Luftplatte beliebig variieren zu können, sitzt der Spiegel M_2 auf einem Schlitten, der vom Platze des Beobachters mittels Schraube und Kurbel verschoben werden kann. Die Ebene des virtuellen Bildes von M_2 nennt Michelson die Referenzebene. Diese Bezeichnung möge auch hier die Darstellung des Folgenden erleichtern.

Fig. 33.



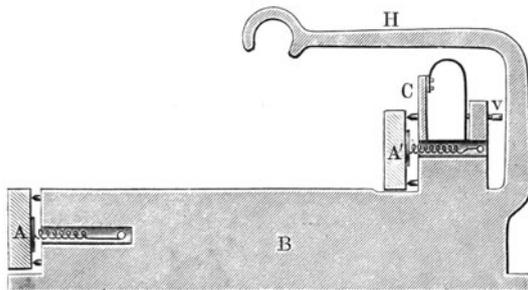
In den Strahlengang ist noch eine planparallele Platte G_2 eingeschaltet, die mit G_1 gleich, aber nicht versilbert ist. Sie dient dem Zweck, die durch G_1 eingeführte Unsymmetrie beider Strahlhälften zu beseitigen. — Die Platte G_2 hat aber noch eine weitere Aufgabe zu erfüllen, welcher sie dadurch gerecht wird, daß sie um eine vertikale Achse gedreht werden kann. Durch eine solche Drehung wird die optische

Weglänge des an M_2 reflektierten Strahlenanteils etwas verändert, was wünschenswert ist, weil die Transportschraube für M_2 in Rücksicht auf die Kleinheit der zu beobachtenden Lagenänderungen doch nur als ein rohes Verschiebungsmittel anzusehen ist. Die Platte G_2 ist also zugleich als ein Kompensator aufzufassen, dessen an seiner Verstellvorrichtung vorzunehmende Ablesungen nach zuvoriger Eichung auf Wellenlängen umzurechnen sind.

Zur Untersuchung im Interferometer bedurfte Michelson

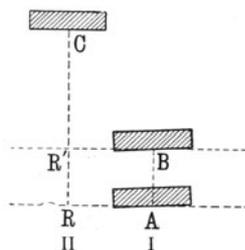
besonders konstruierter „Maßstäbe“, deren einer in Fig. 34 abgebildet ist. Die Maßstäbe bestehen aus zwei Spiegeln A und A' , welche durch ein Bronzegerüst B miteinander verbunden sind. Sie sind mit Justiervorrichtungen versehen (z. B. rechts Cv), welche erlauben die Spiegel einander genau parallel zu stellen und ihren Abstand um kleine Beträge zu korrigieren. Als Länge des Maßstabes gilt die senkrechte Entfernung der beiden Spiegelebenen. — Der Maßstab ist an dem Griffe H leicht zu transportieren.

Fig. 34.



Um die Länge des Maßstabes in Wellenlängen auszuwerten, bringt man ihn in das Interferometer in den Strahlengang des nach M_1 (Fig. 33) abgespaltenen Lichtanteils. Der Spiegel M_2 der Referenzebene steht, wie schon erwähnt, auf einem Schlitten, welcher ihn und damit auch die Referenzebene parallel zu sich selbst zu verschieben gestattet. R und R' (Fig. 35) geben zwei aufeinander folgende Stellungen der Referenzebene an, welche beide zu einem festen Spiegel C (entsprechend C' in Fig. 32, M_1 in Fig. 33) parallel sind. C wird dabei in solcher Entfernung aufgestellt, daß zwischen ihm und der Referenzebene ringförmige (Haidingersche) Interferenzen von bequem beobachtbarer Breite entstehen.

Fig. 35.

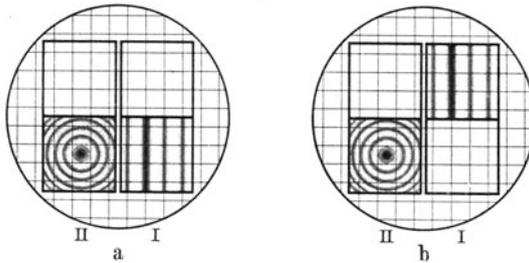


A und B sind die beiden Spiegel des Maßstabes, die einen sehr kleinen Winkel mit der Referenzebene einschließen, so daß gerade (Fizeausche) Interferenzen zwischen ihnen und der Referenzebene entstehen, wenn die Abstände hinreichend klein

werden. Die Spiegel *A* und *B* werden so orientiert, daß die Interferenzstreifen zu Vertikallinien, die auf der Referenzebene oder vielmehr auf dem die Referenzebene abbildenden Spiegel angebracht sind, parallel laufen. Die Referenzebene und auch der Kompensator sind so groß, daß sie gleichzeitig die drei Spiegel *A*, *B* und *C* überlagern.

Die Methode der Messung ist nun folgende. Man bringt die Referenzebene angenähert zur Deckung mit der Ebene *A*. Alsdann führt man mit Hilfe des Kompensators bei Beleuchtung mit weißem Licht den schwarzen zentralen Interferenzstreifen auf den gewählten Strich der Referenzebene (rechts unten in Fig. 36 a). Die Ablesung am Kompensator sei *a*. Man stellt nun auf dem Spiegel *C* (in der Fig. 36 a links unten) wieder mit

Fig. 36.



Hilfe des Kompensators bei Beleuchtung mit monochromatischem Licht die Phase Null her, d. h. man bringt einen gleichförmigen schwarzen Fleck in das Zentrum der Ringe und liest die neue Stellung *b* des Kompensators ab. Dann dreht man die Schraube, welche den Spiegel der Referenzebene (M_2 in Fig. 33) trägt, langsam und stetig vorwärts und zählt dabei die Interferenzringe, welche links im Zentrum verschwinden. Kommt schließlich die Referenzebene der Ebene *B* nahe, so erscheinen rechts oben im weißen Licht zwischen Referenzebene und Ebene *B* wieder Fizeausche Streifen; man bewegt jetzt die Referenzebene noch weiter, bis der schwarze Interferenzstreifen nahezu mit dem gewählten Strich der Referenzebene zusammenfällt. Nun wird mit dem Kompensator links unten die Phase Null wieder hergestellt (Fig. 36 b links unten); der Kompensator ergebe hierbei die Ablesung b_1 . Endlich bringt man, wieder mit dem Kompensator

(Ablesung a_1) den schwarzen Interferenzstreifen rechts oben (Fig. 36 b) auf den Strich der Referenzebene. Ist N die Anzahl der insgesamt im Zentrum der Interferenzerscheinung verschwundenen Haidingerschen Ringe, so enthält der Maßstab

$$N + \frac{b - a + a_1 - b_1}{\tau}$$

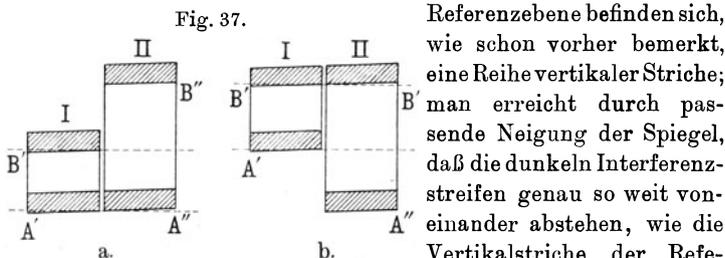
halbe Wellenlängen des benutzten monochromatischen Lichtes, wobei τ die Reduktionskonstante des Kompensators für dieses Licht bedeutet.

Solche Zählungen sind von Michelson tatsächlich ausgeführt worden. Die hierbei zu leistende Arbeit ist indessen eine recht schwierige und stellt große Anforderungen an den Beobachter. Michelson beschränkte deshalb die Aufgabe des Auszählens der Interferenzstreifen auf einen verhältnismäßig kleinen Maßstab, dessen Länge er gleich $2^{-8} \times 10 \text{ cm} = \text{etwa } 0,039 \text{ cm}$ wählte. Dieser Maßstab enthielt bereits mehr als 1200 halbe Wellenlängen der benutzten roten Cadmiumstrahlung ($\lambda = 0,644 \mu$). Kontrolliert wurde das Ergebnis der Zählung dadurch, daß man zugleich die Streifenbrücheile für andere Cadmiumlinien (grün: $\lambda = 0,509 \mu$; blau: $\lambda = 0,480 \mu$; violett: $\lambda = 0,468 \mu$) mit großer Schärfe ermittelte und auf eine dem Abbeschen Verfahren (§ 46, S. 74) ähnliche Weise rechnerisch verwertete.

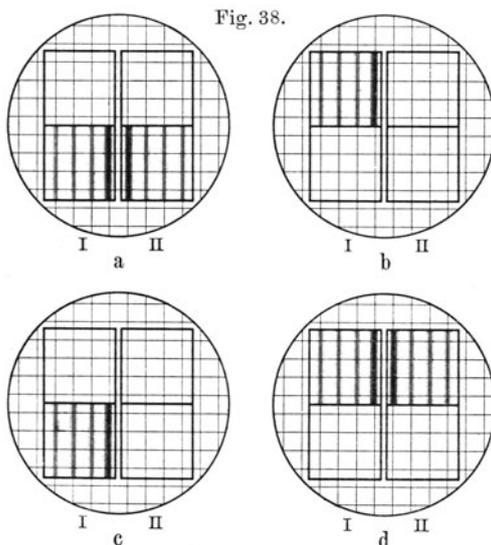
Man hätte nun den so ausgewerteten Maßstab direkt an ein passendes Intervall eines Strichmaßstabes anschließen können (über die Methode des Anschlusses vgl. S. 151 unten). Hierbei hätte sich aber der Fehler, mit dem die Auswertung des kleinen Michelsonschen Maßstabes in Wellenlängen immerhin noch behaftet ist, in unliebsamer Weise sehr stark vergrößert. Um das zu vermeiden, stellte Michelson noch eine Anzahl weiterer Spiegelmaßstäbe her, von denen jeder folgende nahezu die doppelte Länge des vorhergehenden hatte, deren neunter also das 2^8 fache des optisch ausgewerteten betrug, also 10 cm lang war. Es entstand nun die Aufgabe, jeden nächstfolgenden Maßstab II an den vorhergehenden halb so langen Maßstab I anzuschließen.

Die Lösung dieser Aufgabe, wiederum mit Hilfe des Interferometers, ist in Fig. 37 a und b schematisch dargestellt. Bei diesen Maßstabvergleichen werden immer nur die geraden Fizeauschen Interferenzstreifen benutzt. Man richtet beide

Maßstäbe, deren kürzeren (I) man an Stelle des Spiegels *C* (Fig. 35) neben dem längeren (II) aufstellt, so, daß ihre Spiegel wieder einen kleinen Winkel mit der Referenzebene einschließen. Auf der



Referenzebene befinden sich, wie schon vorher bemerkt, eine Reihe vertikaler Striche; man erreicht durch passende Neigung der Spiegel, daß die dunkeln Interferenzstreifen genau so weit voneinander abstehen, wie die Vertikalstriche der Referenzebene, daß sie sich also mit diesen decken. Dann werden folgende Operationen ausgeführt, wobei die Feineinstellungen jedesmal wieder mit Hilfe des Kompensators ausgeführt und dessen Ablesungen in Rechnung gezogen werden:



1. Die beiden Vorderebenen der Maßstäbe werden so gestellt, daß sie mit der Referenzebene zusammenfallen (Fig. 37 a), d. h. so, daß die schwarzen Streifen auf zwei unmittelbar benachbarte Striche der Referenzebene zu liegen kommen (Fig. 38 a).

2. Die Referenzebene wird um die Länge des kürzeren Maßstabes nach hinten geschoben, so daß sie mit der Ebene B' (Fig. 37a) des Maßstabes I zusammenfällt und die Erscheinung der Fig. 38 b erhalten wird.

3. Der Maßstab I wird um seine eigene Länge nach hinten geschoben (Fig. 37 b), so daß seine Vorderebene wieder in die Referenzebene fällt und das Bild der Fig. 38 c entsteht.

4. Die Referenzebene wird noch einmal um die Länge des kleinen Maßstabes nach hinten geschoben, bis sie mit der hinteren Ebene B' des Maßstabes I (Fig. 37 b) zusammenfällt. Nach Ausgleich durch den Kompensator erhält man das Aussehen, wie es Fig. 38 d wiedergibt.

Die vier Kompensatorablesungen, passend algebraisch addiert, sind dann gleich der Differenz zwischen dem Maßstab II und der doppelten Länge von Maßstab I.

Rechnet man das aus und setzt den Wert für Maßstab I ein, so läßt sich also die Länge des Maßstabes II direkt in den Wellenlängen der benutzten Strahlungen ausdrücken.

Die so erhaltenen Zahlen sind noch ein wenig verbesserungsfähig. Denkt man sich nämlich, man wolle den Maßstab II ebenso wie vorher den Maßstab I im Interferometer direkt bestimmen, so würde zwar die Auszählung der bei der Verschiebung der Referenzebene durchwandernden Streifen, wie schon oben hervorgehoben, auf Schwierigkeiten stoßen. Dagegen ließen sich aber die Bruchteile der Interferenzstreifenintervalle, ebenso wie dort, mit der gleichen Genauigkeit ausführen. Die Ausführung dieser Beobachtung genügt aber auch, da ja die Anzahl der durchgewanderten Streifen durch den Vergleich des Maßstabes II mit I bis auf Unsicherheiten, welche höchstens in den Dezimalstellen liegen, schon bekannt ist, um eben diese Dezimalstellen nach der Abbeschen Methode (§ 46, S. 74 u. S. 149) schärfer zu bestimmen, als es durch die direkte Vergleichung von II mit I möglich war. Durch diese direkte Bestimmung der Streifenüberschüsse wird also die Genauigkeit der Längenbestimmung des Maßstabes II unabhängig von der Genauigkeit, mit der Maßstab I gemessen war; die bei der Messung des Maßstabes I gemachten Fehler werden also auf Maßstab II nicht übertragen.

Es erübrigt sich jetzt noch, kurz auf den Anschluß des längsten (neunten) Michelsonschen Maßstabes (10 cm) an das Meter ein-

zugehen. Der Maßstab IX trug zum Zwecke dieses Anschlusses auf einem besonderen Arme einen sehr feinen Strich s , der dem einen Endstrich des Meterstabes so gegenüber gestellt wurde, daß beide gleichzeitig im Gesichtsfeld eines Mikrometernikroskopes sichtbar waren. Nachdem der Abstand zwischen den beiden Strichen bestimmt worden war, wurde Maßstab IX mit Hilfe der Referenzebene, analog wie oben beschrieben, zehnmal um seine eigene Länge verschoben und dann in der zehnten Stellung der Abstand des Striches s von dem zweiten Endstrich des Meterstabes gemessen.

Als Gesamtergebnis der Michelsonschen Arbeit ergibt sich die Länge des Meters, ausgedrückt in den Wellenlängen der roten, grünen und blauen Cadmiumlinie für 760 mm Quecksilberdruck und 15°C der Skala des Quecksilberthermometers aus französischem Verre dur (gleich $14,93^{\circ}$ der Normalskala):

$$\begin{aligned} 1 \text{ m} &= 1\,553\,163,5 \lambda_{\text{rot}} \\ &= 1\,966\,249,7 \lambda_{\text{grün}} \\ &= 2\,083\,372,1 \lambda_{\text{blau}}, \end{aligned}$$

oder umgekehrt:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{rot}} &= 0,643\,847\,22 \mu \\ \lambda_{\text{grün}} &= 0,508\,582\,40 \mu \\ \lambda_{\text{blau}} &= 0,479\,991\,07 \mu. \end{aligned}$$

Die Genauigkeit, mit welcher das Meter auf diese Weise in Wellenlängen ausgemessen ist, wird auf weniger als $\pm 1 \mu$ geschätzt.

§ 82. Versuche von Benoît, Fabry und Perot¹⁾.

Die Resultate wissenschaftlicher Forschung sind erst dann als ein gesicherter Bestand unserer Kenntnisse anzusehen, wenn sie mit anderen Hilfsmitteln nachgeprüft und bestätigt wurden. Aus diesem Gesichtspunkt heraus ist es mit Freuden zu begrüßen, daß man sich an maßgebender Stelle im Bureau international des Poids et Mesures entschloß, die Michelsonschen Untersuchungen zu wiederholen. Auch dieser neuen Ausmessung des Meters in Wellenlängen wurden die Interferenzerscheinungen dienstbar gemacht.

Die von Fabry und Perot angegebenen „Maßstäbe“ benutzen nicht wie die Michelsonschen Maßstäbe reflektiertes

¹⁾ R. Benoît, Ch. Fabry et A. Perot, Nouvelle détermination du Mètre en longueurs d'ondes lumineuses. *Compt. rend.* **144**, 1082 bis 1086 (1907); *Zeitschr. f. Instrumentenk.* **28**, 307 bis 309 (1908).

Licht, sondern werden im durchgehenden Lichte beobachtet. Die Maßstäbe Fabrys und Perots sind Luftplatten, welche in der Weise hergestellt werden, daß man je eine gut plane Fläche zweier schwach keilförmiger Glasplatten leicht versilbert und diese so aufstellt, daß die versilberten Flächen einander zugekehrt und parallel sind; die einander zugekehrten Flächen der beiden Silberschichten bilden dann die planparallele Luftplatte, gleichsam einen Maßstab mit inneren Enden. Die Parallelstellung der Flächen geschieht mit sehr feinen, hier nicht näher zu erörternden Mechanismen; zur Justierung werden Haidingersche Ringe verwendet.

Der Maßstab von Fabry und Perot besteht aus Invar; er hat einen U-förmigen Querschnitt von 5 cm Kantenlänge und im Innern eine Höhlung von 3×3 cm, durch welche die Lichtstrahlen hindurchgehen können. Die versilberten Glasplatten werden gegen die beiden mit abgerundeten Widerlagern versehenen Enden angedrückt. Oben auf den beiden Glasplatten, ganz nahe den Innenkanten, sind Teilstriche gezogen, so daß die Entfernung zwischen zwei passend gewählten Teilstrichen nahezu 1 m beträgt. Der in Wellenlängen auszumessende Abstand ist also gleich der Zahl N von Wellenlängen, welche die Luftplatte enthält, vermehrt um die Zahl n von Wellenlängen, die der Summe der Entfernungen der beiden gewählten Teilstriche von den Silberflächen entspricht.

Nun ist eine nahezu 1 m dicke Luftplatte nicht mehr direkt in Wellenlängen ausmeßbar, weil über so hohe Gangunterschiede die Interferenzerscheinung nicht mehr beobachtet werden kann. Fabry und Perot stellten sich deshalb vier Hilfsetalons von 50 cm, 25 cm, 12,5 cm und 6,25 cm Länge her. Der kürzeste dieser Etalons ließ sich in einem aus versilberten Glasplatten bestehenden Interferometer im durchgehenden Lichte, ähnlich wie bei der Michelsonschen Methode, direkt in Wellenlängen auswerten¹⁾. Das Abzählen der Interferenzen konnte hierbei durch Anwendung einer Koinzidenzmethode erheblich erleichtert werden. Diese Methode besteht darin, daß man mit mehreren, etwa zwei, homogenen Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge gleichzeitig Interferenzen erzeugt und die Anzahl der Konsonanzen und Dis-

¹⁾ A. Perot et Ch. Fabry, Méthodes interférentielles pour la mesure des grands épaisseurs et la comparaison des longueurs d'ondes; Ann. chim. phys. (7) 16, 289 bis 338 (1899).

sonanzen zählt, die bei der kontinuierlichen Änderung des Gangunterschiedes durch das Gesichtsfeld gehen. Geeignet hierfür, und von Fabry und Perot bei der Auswertung ihres kürzesten Etalons auch tatsächlich verwendet, sind die rote und die grüne Cadmiumlinie, welche nahezu bei jedem fünften bzw. sechsten Interferenzstreifen in Konsonanz sind.

Der Übergang von einem Etalon zu dem nächstgrößeren, nahezu doppelt so langen Maßstab, wurde mit weißem Lichte ausgeführt. Hierbei wurden die beiden Etalons L und L' , deren Dicken mit E und E' bezeichnet werden mögen, zugleich mit einem geeichten, dünnen, schwach keilförmigen Luftetalon l hintereinander aufgestellt¹⁾. Bei Beleuchtung mit durchgehendem Lichte wurde dann ein Strahl, welcher in L viermal, in L' und l gar nicht reflektiert war, mit einem in L gar nicht, dagegen in L' und l zweimal reflektiertem Strahl zur Interferenz gebracht. Ist L' nahezu gleich $2L$, so treten Fizeausche Streifen auf, die bei Anwendung weißen Lichtes die schon früher erwähnte (S. 143), jetzt im durchgehenden Lichte helle Mittellinie zeigen. Bezeichnet man die Dicke der dünnen keilförmigen Luftplatte an der Stelle, welche dieser hellen Mittellinie entspricht, mit e , so gilt jetzt:

$$5E + 1E' + e = E + 3E' + 3e,$$

woraus folgt:

$$E' = 2E - e.$$

Indem man mit dieser Vergleichung zu immer längeren Maßstäben fortschreitet, findet man schließlich die Zahl N .

Zur Bestimmung von n werden mit den beiden, die Teilstriche tragenden Glasplatten des 1 m-Maßstabes nacheinander zwei Luftplattenetalons dargestellt, derart, daß bei dem einen die Entfernung D der beiden Striche nahezu doppelt so groß ist, wie beim anderen, wo die Entfernung D' betragen möge. Nennt man die Dicken der Luftplatten ε und ε' , so gelten die Gleichungen:

$$D = \varepsilon + n \quad \text{und} \quad D' = \varepsilon' + n$$

oder

$$D = \varepsilon + n \quad \text{und} \quad 2D' = 2\varepsilon' + 2n.$$

Durch Subtraktion findet man $n = (2D' - D) - (2\varepsilon' - \varepsilon)$. $2D' - D$ läßt sich leicht durch komparatorische Vergleichung

¹⁾ A. Perot et Ch. Fabry, Sur la mesure optique de la différence de deux épaisseurs. Compt. rend. 138, 676—678 (1904).

mit einem Maßstab bestimmen; auch $2\varepsilon' - \varepsilon$ ist, da ja ε nahezu doppelt so groß ist wie ε' , nach derselben Methode zu ermitteln, nach welcher man vorher die Länge des 12,5 cm-Etalons aus der Länge des 6,25 cm-Etalons herleitete. Damit ist dann auch n gegeben.

Endlich wurde die Länge des 1 m-Strichetalons ($N + n$) in bekannter Weise mit Hilfe des Komparators auf metrisches Maß bezogen.

Als Schlußresultat der Untersuchungen von Benoît, Fabry und Perot ergibt sich die Länge des Meters in Wellenlängen λ der roten Cadmiumlinie in trockener Luft von 15° der Wasserstoffskale und 760 mm Druck:

$$1 \text{ m} = 1\,553\,164,13 \lambda \quad \text{oder} \quad \lambda = 0,643\,846\,96 \mu,$$

mit einer Genauigkeit von $\frac{1}{10\,000\,000}$ des Wertes, d. h. $\pm 0,1 \mu$ pro Meter. Dies ist aber auch die Grenze der Genauigkeit, mit welcher Meterprototype unter den besten Beobachtungsbedingungen auf dem Komparator an das internationale Prototyp angeschlossen werden können, somit auch die Genauigkeit, mit welcher zurzeit die Längeneinheit überhaupt definiert ist.

Um einen Vergleich mit den Resultaten Michelsons zu ermöglichen, werden an dessen Werten noch zwei Korrekturen angebracht. Die eine betrifft die Reduktion der Temperatur auf die Wasserstoffskale und ist unbedeutend; die zweite soll den Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Wellenlänge berücksichtigen, kann aber, da die Beobachtungsdaten fehlen, nachträglich nicht mehr mit voller Sicherheit ermittelt werden. Die reduzierten Werte Michelsons für die rote Cadmiumlinie sind:

$$1 \text{ m} = 1\,553\,164,03 \lambda \quad \text{oder} \quad \lambda = 0,643\,847\,00 \mu.$$

Die Übereinstimmung der Resultate der beiderseitigen Untersuchungen ist also eine ausgezeichnete.

§ 83. Anschluß der Masseneinheit an die Längeneinheit. Die Methode dieses Anschlusses besteht darin, daß der Inhalt eines regelmäßig gestalteten Körpers durch lineare Ausmessung in Kubikzentimeter ausgedrückt, ferner aber durch hydrostatische Wägungen in der dem Kubikzentimeter entsprechenden und nahe gleichen Einheit des Milliliters dargestellt wird. Der Quotient beider Zahlen gibt direkt das Verhältnis des Milli-

liters zum Kubikzentimeter; da ein Milliliter Wasser im Zustande größter Dichte die Masse von 1 g repräsentiert, so kennt man dadurch auch das Gramm in Abhängigkeit vom Zentimeter.

Die zweite Art der Darstellung des Inhalts eines Körpers in Milliliter bietet keine besonderen Schwierigkeiten und kann auf einer mäßig guten Wage mit hinreichender Genauigkeit ausgeführt werden (§ 73). Anders die lineare Ausmessung des Körpers; hier sind sehr subtile Messungsmethoden anzuwenden, um ein nur einigermaßen brauchbares Resultat zu erhalten.

Von allen bisher nach dieser Richtung angestellten Untersuchungen halten nur die im Bureau international ausgeführten einer Kritik stand. Dort sind für die lineare Ausmessung von Körpern drei Methoden angewendet worden ¹⁾.

Guillaume bediente sich im Jahre 1898 der ursprünglichen „Kontaktmethode“ von Lefèvre-Gineau, dem Schöpfer des Kilogramms (§ 7), indem er alle neueren Verbesserungen der Metro- nomie zur Anwendung brachte. Er benutzte drei Bronzeyylinder, deren Höhe bei jedem mit dem Durchmesser nahe übereinstimmte und bzw. etwa 10, 12 und 14 cm betrug, und bestimmte deren Linearabmessungen durch sorgfältige Beobachtungen auf dem Komparator. Auf diese Weise fand er

	Volumen von 1 kg Wasser dm ³
Zylinder Nr. 1	1,000 025 1
„ „ 2	1,000 034 5
„ „ 3	1,000 032 8
als wahrscheinlichsten Wert	1,000 029

Der zweite Weg der Linearausmessung, auf Würfel aus Crown- glas von nahezu 4, 5 und 6 cm Kantenlänge angewendet, wurde von Chappuis ²⁾ eingeschlagen. Sie knüpft an die Versuche

¹⁾ René Benoit, Sur les déterminations récentes du volume du kilogramme d'eau; Compt. rend. **145**, 1385—1389 (1907); Zeitschr. f. Instrumentenk. **28**, 49 bis 50 (1908).

²⁾ P. Chappuis, Détermination du volume du kilogramme d'eau. Trav. et Mém. du Bur. intern. des Poids et Mesures **14**, 167 S. (1907).

Michelsons (§ 81) über die Ausmessung des Meters in Lichtwellenlängen an. Der auszumessende Würfel W befindet sich nahe vor einer ebenen Spiegelglasplatte S (Fig. 39), welche seitlich (a) über ihn hinwegragt. Die freie Fläche (a) der Spiegelglasplatte und die vordere (von der Spiegelglasplatte abgewandte) Würfelfläche b stellen dann, wenn sie einander vollkommen parallel sind, ein Gebilde dar, welches den von Michelson benutzten Längentalons ähnlich ist; ihre Entfernung läßt sich also nach den von Michelson angegebenen und im § 81 beschriebenen Messungsmethoden bestimmen. Die Würfelhöhe ist gleich dieser Entfernung, vermindert um die geringe Dicke der Luftschicht, welche sich noch zwischen der Spiegelglasplatte und der zugewendeten nahen Würfelfläche befindet. Diese Dicke wird schließlich mit Hilfe Fizeauscher Interferenzen bestimmt. Die Messungsergebnisse Chappuis' sind hierunter mitgeteilt.

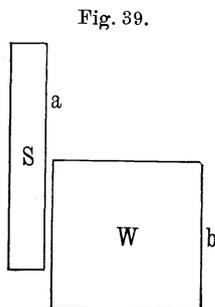


Fig. 39.

Würfel	Volumina		Volumen von 1 kg Wasser bei 4° und 760 mm Druck dm³
	cm³	ml	
4 cm Kantenlänge	63,736 97	63,735 14	1,000 0287
5 " " { 1. Messung . .	122,557 84	122,555 23	1,000 0211
5 " " { 2. " . .	122,557 58	122,554 92	1,000 0216
5 " " neu bearbeitet	118,250 93	118,247 75	1,000 0269
6 " "	230,690 00	230,682 98	1,000 0304
5 " " vor endgültiger Bearbeitung	124,203 53	124,200 19	1,000 0269

Der Mittelwert beträgt, je nachdem man allen Zahlen das gleiche Gewicht erteilt oder das Gewicht proportional dem Volumen der einzelnen Würfel annimmt: 1,000 025 9 oder 1,000 026 4 dm³, in jedem Falle aber abgerundet 1,000 026 dm³.

Eine dritte Methode der Linearausmessung rührt von Macé de Lépinay her und ist von diesem gemeinsam mit

Buisson¹⁾ und Benoît zur Zurückführung der Masseneinheit auf die Längeneinheit benutzt worden. Zu den Versuchen dienten zwei nahezu würfelförmige Körper aus Quarz von nahezu 4 und 5 cm Kantenlänge, deren Volumina durch Wägung zu

59,88842 ml bzw. 122,66033 ml

bestimmt wurden. Die Linearausmessung beruhte auf einer Kombination der Haidingerschen Ringe und einer anderen hier nicht näher zu behandelnden Interferenzerscheinung, den Talbotschen Streifen, und gestattet eine Eliminierung des Brechungsindex. Die Haidingerschen Ringe wurden von den an je zwei gegenüberliegenden Flächen des Würfels reflektierten Strahlen, die Talbotschen Streifen wurden dagegen von den Strahlen erzeugt, welche die Dicke des Würfels passiert hatten und denjenigen, welche nur eine gleichdicke Luftschicht durchlaufen hatten. Diese zweite Interferenzerscheinung ist der Natur der Sache nach nur in der Nähe der Kanten eines Würfels beobachtbar; eine absolute Auswertung der Würfeldicke ist also, wenn man auf die Kenntnis des Brechungsexponenten verzichten will, nur an den Rändern des Würfels ausführbar. Die relative Gestaltung der Würfel Flächen wurde alsdann aus dem Aussehen der Interferenzkurven gleicher Neigung mit genügender Genauigkeit abgeleitet, um Mittelwerte der Dicke in den drei Hauptrichtungen bilden zu können. Allerdings mußte man dabei für die Änderung des Brechungsexponenten, der ja gleichfalls das Aussehen der Interferenzkurven beeinflußt, nach seinem Werte an den Kanten des Würfels einfache Annahmen machen.

Nach der geschilderten Methode ergaben sich aus den Mittelwerten für die Dicke der Würfel in den drei Hauptrichtungen durch Multiplikation die Volumina beider Würfel zu

59,88998 cm³ bzw. 122,66390 cm³

und aus diesen Zahlen und den durch Wägung ermittelten Volumenwerten das Volumen von 1 kg Wasser zu

1,0000260 bzw. 1,0000291 dm³,

im Mittel

1,000028 dm³.

¹⁾ H. Buisson, Nouvelle détermination de la masse du décimètre cube d'eau. Journ. de phys. (4) 4, 669—677 (1905).

Stellen wir die drei Messungen nochmals zusammen, so wurde das Volumen von 1 kg Wasser bei 4⁰ und unter dem Druck von 760 mm gefunden

von Guillaume	1,000 029 dm ³
„ Chappuis	1,000 026 „
„ Macé de Lépinay, Buisson und Benoît	1,000 028 „

Das Mittel aller Resultate ist also

$$1,000\,028 \text{ dm}^3,$$

mit einem wahrscheinlichen Fehler von ein bis zwei Einheiten der letzten angegebenen Ziffer. Mit anderen Worten: Das Kilogramm ist die Masse eines Würfels reinen Wassers im Zustande größter Dichte, dessen Kantenlänge 1,000 009 dm beträgt.

Anhang.

T a b e l l e n.

Im folgenden sind einige Tabellen zusammengestellt, welche bei metronomischen Messungen, insbesondere bei Wägungen, viel gebraucht werden. Die Tabellen 1 und 2 dienen zur bequemen Berechnung der Luftdichte aus Temperatur und Luftdruck (§ 61); Tabelle 3 bildet eine Ergänzung hierzu, indem sie erlaubt, ebenfalls mit Hilfe meteorologischer Beobachtungen, den Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Luftdichte zu ermitteln (§ 64).

Die Tabelle 5 hat wesentlich für hydrostatische Wägungen (§§ 71 und 73) Bedeutung, wird also in erster Linie bei der Ermittlung äußerer Körpervolumina gebraucht. Zur Auswägung von Hohlvolumina (§ 75) findet Wasser seltener Verwendung als Quecksilber, dessen spezifisches Gewicht bei verschiedenen Temperaturen aus Tabelle 4 entnommen werden kann. Tabelle 6 liefert eine bei Auswägungen und volumenometrischen Messungen oft gebrauchte Korrektion.

Tabelle 1. Werte von $a = \frac{0,001\ 2928}{1 + 0,003\ 67t}$ und $\log a$.

t	a	$\log a$	Diff.	Proportionalteile							
0	0,001 292 8	11 153									
1	288 1	10 994	159		159	158	157	156	155	154	
2	283 4	10 836	158	1	15.9	15.8	15.7	15.6	15.5	15.4	
3	278 7	10 678	158	2	31.8	31.6	31.4	31.2	31.0	30.8	
4	274 1	10 520	157	3	47.7	47.4	47.1	46.8	46.5	46.2	
5	0,001 269 5	10 363	156	4	63.6	63.2	62.8	62.4	62.0	61.6	
6	264 9	10 207	156	5	79.5	79.0	78.5	78.0	77.5	77.0	
7	260 4	10 051	155	6	95.4	94.8	94.2	93.6	93.0	92.4	
8	255 9	09 896	154	7	111.3	110.6	109.9	109.2	108.5	107.8	
9	251 5	09 742	154	8	127.2	126.4	125.6	124.8	124.0	123.2	
				9	143.1	142.2	141.3	140.4	139.5	138.6	
10	0,001 247 0	09 588	154								
11	242 6	09 434	153		153	152	151	150	149	148	
12	238 3	09 281	152	1	15.3	15.2	15.1	15.0	14.9	14.8	
13	233 9	09 129	152	2	30.6	30.4	30.2	30.0	29.8	29.6	
14	229 6	08 977	151	3	45.9	45.6	45.3	45.0	44.7	44.4	
15	0,001 225 3	08 826	151	4	61.2	60.8	60.4	60.0	59.6	59.2	
16	221 1	08 675	150	5	76.5	76.0	75.5	75.0	74.5	74.0	
17	216 9	08 525	150	6	91.8	91.2	90.6	90.0	89.4	88.8	
18	212 7	08 375	149	7	107.1	106.4	105.7	105.0	104.3	103.6	
19	208 5	08 226	149	8	122.4	121.6	120.8	120.0	119.2	118.4	
				9	137.7	136.8	135.9	135.0	134.1	133.2	
20	0,001 204 4	08 077	148								
21	200 3	07 929	148		147	146	145	144			
22	196 2	07 781	147	1	14.7	14.6	14.5	14.4			
23	192 2	07 634	147	2	29.4	29.2	29.0	28.8			
24	188 1	07 487	146	3	44.1	43.8	43.5	43.2			
25	0,001 184 2	07 341	146	4	58.8	58.4	58.0	57.6			
26	180 2	07 195	145	5	73.5	73.0	72.5	72.0			
27	176 2	07 050	145	6	88.2	87.6	87.0	86.4			
28	172 3	06 905	144	7	102.9	102.2	101.5	100.8			
29	168 4	06 761	144	8	117.6	116.8	116.0	115.2			
30	0,001 164 6	06 617		9	132.3	131.4	130.5	129.6			

Tabelle 2.

Werte von $\log \frac{h}{760}$.

mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
700	96 428	490	552	614	676	738	799	861	922	983
710	97 044	106	167	228	288	349	410	471	531	592
720	652	712	772	832	892	952	*012	*072	*132	*191
730	98 251	310	370	429	488	547	606	665	724	783
740	842	900	959	*018	*076	*134	*193	*251	*309	*367
750	99 425	483	540	598	656	713	771	828	886	943
760	00 000	057	114	171	228	285	342	398	455	511
770	568	624	680	737	793	849	905	961	*017	*072
780	01 128	184	239	295	350	406	461	516	571	626
790	681	736	791	846	901	955	*010	*064	*119	*173

Tabelle 3.

Sättigungsdrucke e' des Wasserdampfes im Millimeter Quecksilber.

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4,579	4,926	5,294	5,685	6,101	6,543	7,014	7,514	8,046	8,610
10	9,210	9,845	10,519	11,233	11,989	12,790	13,637	14,533	15,480	16,481
20	17,593	18,655	19,832	21,074	22,383	23,763	25,217	26,747	28,358	30,052
30	31,834	33,706	35,674	37,741	39,911	42,188	44,577	47,082	49,708	52,459

Tabelle 4.

Spezifisches Gewicht des Quecksilbers (vgl. § 77).

Grad Zehner	Einer									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	13,595 45	9298	9051	8804	8558	8311	8065	7818	7572	7326
10	70 79	6833	6587	6341	6095	5849	5604	5358	5113	4867
20	46 22	4376	4131	3886	3641	3396	3151	2906	2661	2416
30	21 71	1927	1682	1437	1193	0949	0704	0460	0216	*9972

Tabelle 5.

Spezifisches Gewicht des luftfreien Wassers (vgl. § 72).

Grad	Zehntelgrade									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,999 868	874	881	887	893	899	905	911	916	922
1	927	932	936	941	945	950	954	957	961	965
2	968	971	974	977	980	982	985	987	989	991
3	992	994	995	996	997	998	999	999	*000	*000
4	1,000 000	000	000	*999	*999	*998	*997	*996	*995	*993
5	0,999 992	990	988	986	984	982	979	977	974	971
6	968	965	962	958	954	951	947	943	938	934
7	929	925	920	915	910	904	899	893	888	882
8	876	870	864	857	851	844	837	830	823	816
9	808	801	793	785	778	769	761	753	744	736
10	727	718	709	700	691	681	672	662	652	642
11	632	622	612	601	591	580	569	558	547	536
12	525	513	502	490	478	466	454	442	429	417
13	404	391	379	366	353	339	326	312	299	285
14	271	257	243	229	215	200	186	171	156	141
15	126	111	096	081	065	050	034	018	002	*986
16	0,998 970	953	937	920	904	887	870	853	836	819
17	801	784	766	749	731	713	695	677	659	640
18	622	603	585	566	547	528	509	490	471	451
19	432	412	392	372	352	332	312	292	271	251
20	230	210	189	168	147	126	105	083	062	040
21	019	*997	*975	*953	*931	*909	*887	*864	*842	*819
22	0,997 797	774	751	728	705	682	659	635	612	588
23	565	541	517	493	469	445	421	396	372	347
24	323	298	273	248	223	198	173	147	122	096
25	071	045	019	*994	*968	*941	*915	*889	*863	*836
26	0,996 810	783	756	730	703	676	648	621	594	567
27	539	512	484	456	428	400	372	344	316	288
28	259	231	202	174	145	116	087	058	029	000
29	0,995 971	941	912	882	853	823	793	763	733	703
30	673	643	613	582	552	521	491	460	429	398

Tabelle 6.

Volumen eines Quecksilbermeniskus in cmm (vgl. § 75).

Höhe des Meniskus in mm	Durchmesser des Rohres in mm										
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1,6	157	185	214	245	280	318	356	398	444	492	541
1,7	169	198	229	263	300	340	381	426	475	526	579
1,8	181	211	244	281	320	362	407	455	507	560	616
1,9	194	225	261	300	341	385	433	484	539	595	654
2,0	206	240	278	319	362	409	460	513	571	631	694
2,1	219	256	295	338	384	434	487	543	604	667	735
2,2	233	271	313	358	406	459	515	574	637	704	776
2,3	247	287	331	379	430	485	544	606	672	742	817
2,4	262	303	350	400	454	511	573	639	708	781	859
2,5	276	320	369	422	478	538	602	672	745	821	903
2,6	291	338	388	444	503	565	633	706	782	862	948

ALPHABETISCHES SACHREGISTER.

(Die Zahlen bedeuten die Seiten.)

A.

Abbesche Methode zur Ermittlung der Zahl der Interferenzstreifenintervalle 74.
Ältere Einheiten für Länge und Masse 3, 4, 5.
Ätzen von Teilungen 24.
Äußere Volumina, Bestimmung mit dem Volumenometer 141.
Airysche Methode der Vergleichung von Endmaßen mit Strichmaßen 45.
Anschiebezylinder 44.
Archimedessches Prinzip 112.
Assmannsches Psychrometer 116.
Atmosphärische Luft, Zusammensetzung 113.
Aufbau von Massen beliebigen Volumens 123.
Aufbewahrung von Massennormalen 106.
— — im Hygrostaten 122.
Aufgaben der Metronomie 3.
Aufstellung einer Wage 87.
Ausbreitung des metrischen Maßsystems 8.
Ausdehnung durch Wärme 58.
— —, Messung auf dem Komparator 67.
— —, — nach der Interferenzmethode 71.
— —, — durch hydrostatische Wägung 77, 135.
— —, — durch Auswägen 135.
Auswägung eines Gefäßes 135.

B.

Bäder konstanter Temperatur 78.
Barometer 51, 115.
—-Reduktion wegen Schwere 116.
— — wegen Wärmeausdehnung 115.
Bordasche Wägung durch Substitution 95.
Bureau international des Poids et Mesures 9.

C.

Celsiuskale 61.
Comité international des Poids et Mesures 9.

D.

Depression des Eispunktes bei Quecksilberthermometer 63.
Dichte der Luft 113, 160, 161.
— des Quecksilbers 137, 161.
— des Wassers 127, 162.
Dilatometer 128.
Druck, Einfluß desselben auf die Angaben von Quecksilberthermometern 62.
Durchschieben, Methode zur Untersuchung von Teilungen 32.

E.

Einheiten 1, 2, 3.
Einschlußthermometer 65.

Eispunktskorrektur bei Quecksilberthermometern 63.
 Elektrische Heizung 79.
 Empfindlichkeit der Wage 85, 96, 100.
 Endmaße 10.
 —, Anschluß an Strichmaße 44.
 —, Formen 43.
 —, Material 44.
 —, Unterteilung 47.
 —, Vergleichung untereinander 47.
 Etalonierung von Massensätzen 107.

F.

Fadenkreuz, Fadenpaare 12.
 Fehler und Korrektur 26.
 — von Schrauben 35.
 — — —, fortschreitende 36.
 — — —, periodische 36.
 — — Teilungen 24.
 Feuchtigkeit der Luft 116.
 — — — über Schwefelsäure-Wasser-Mischungen 117.
 Fizeauscher Apparat 71.
 — Interferenzstreifen 71, 142.
 Fortschreitende Schraubenfehler 36.
 Fußmaße 4.

G.

Galvanische Überzüge auf Massennormalen 104.
 Gasthermometer 61, 62.
 —, Reduktion der Angaben von Quecksilberthermometern auf das 64.
 Gaußsche Wägung durch Vertauschung der Massen 96.
 Gefäßinhalt, Bestimmung durch Wägung 135.
 Gewichtsverlust durch Auftrieb 112.
 Gleicharmige Wage 83.
 — —, Aufstellung 87.
 — —, Beschreibung 88, 93.
 — —, Empfindlichkeit 85, 96, 100.
 — —, Gleichgewichtslage 94.
 — —, Theorie 84.
 Gleiche Massen, Vergleichung derselben 101.
 Gleichgewichtslage der Wage 94.
 Gleichung eines Maßstabes 60.
 Gradmessung 6.

Gradwertkorrektur bei Quecksilberthermometern 64.

H.

Haarhygrometer 117.
 Haidingersche Ringe 144.
 Hansensche Methode zur Bestimmung der inneren Teilungsfehler von Maßstäben 28.
 — —, Erweiterte 29.
 — —, —, zur Kalibrierung von Thermometern 31.
 Hebelarme einer Wage, Verhältnis der 99.
 Heizung 79.
 Heliumthermometer 61.
 Herausragender Faden bei Thermometern 65.
 Höhe, Änderung der Schwere mit der 111.
 Höhenunterschiede von Quecksilbersäulen, Messung der 50.
 Hohlkörper, Bestimmung der Wärmeausdehnung durch Wägung 137.
 Horizontale Lage, Reduktion der Angaben von Quecksilberthermometern auf 63.
 Hydrostatische Wägungen, Ausführung 131.
 — — zur Bestimmung der kubischen Ausdehnung eines Körpers 135.
 Hygrometer 117.
 Hygrostat 122.

I.

Ideale Gase 61.
 Inhalt eines Gefäßes, durch Wägung bestimmt 135.
 Interferenzerscheinungen 142.
 — gleicher Dicke (Fizeau, Newton) 71, 142.
 — gleicher Neigung (Haidinger) 144.
 — nach Talbot 158.
 Interferenzmethode zur Messung der Wärmeausdehnung 71.
 Interferometer 145.
 Interpolationsverfahren bei Wägungen 95.
 Invar 59.

J.

Jenaer Glas 59.

K.

Kältemischungen 80.
Kalibrierung von Endmaßesätzen 47.
— von Thermometern 31, 32, 62.
Kathetometer 20.
Kilogramm 7.
—, Beziehung zum Definitionswert 155.
Kilogramme des Archives 7.
Kilogrammwaage 88.
Kohlensäuregehalt der Luft 113.
Kommunizierende Röhren, Methode zur Bestimmung der Wärmeausdehnung 129.
Komparator 15.
Kondensation auf Oberflächen 120.
Konstante Temperatur durch Bäder 78.
Korrektion und Fehler 26.
Kubikdezimeter und Liter 7, 155.
Kubische Ausdehnung eines Körpers, durch hydrostatische Wägungen bestimmt 135.
Kühlmittel 79, 80.

L.

Längeneinheit 2.
—, durch Lichtwellen ausgedrückt 144, 152.
Längeneinheiten, ältere 3, 4.
Längenmessungen 10.
—, einfache, an Strichmaßen 11.
Lemansche Methode des Durchschiebens zur Untersuchung von Teilungen 32.
Lichtwellenlängen, Auswertung des Meters in 144, 152.
Linearausmessung zur Volumenbestimmung 124.
Liter und Kubikdezimeter 7, 155.
Longitudinalkomparator 20.
Luftdichte 113, 160, 161.
—, aus meteorologischen Beobachtungen bestimmt 113.
—, Bestimmung während der Wägung 117.
—, Einfluß auf Wägungen 112.
Luftdruck, Messung 115.

Luftgewichtskörper 118.
Luftplatte 142.
Lufttemperatur, Messung 114.
Luftthermometer, Reduktion der Angaben von Quecksilberthermometern auf das 64.
Luftzusammensetzung 113.

M.

Manometrische Messungen 50.
Mariottesches Gesetz 139.
— —, scheinbare Abweichungen 121.
Massenänderung infolge Volumenisierung 122.
Masseneinheit 2.
—, Anschluß an die Längeneinheit 155.
Masseneinheiten, ältere 3, 5.
Massenmessungen 82.
Massennormale 103.
—, Aufbewahrung 106.
—, — im Hygrostaten 122.
—, Material 104.
Massensätze und ihre Etalonnierung 107.
Maßeinheiten 1.
Maßstab, Material 58.
—, Normaltemperatur 60.
— für Interferometer 147.
Maßsystem, Ausbreitung des metrischen 8.
—, Vereinheitlichung 5.
Material für Massennormale 104.
— für Maßstäbe 58.
Meniskus, Volumen eines Quecksilber- 136, 163.
Meßmaschinen 48.
Meteorologische Beobachtungen zur Bestimmung der Luftdichte 113.
Meter 5.
— in Lichtwellenlängen, Auswertung 144, 152.
Mètre des Archives 6.
Metrisches Maßsystem, Sicherungen desselben 142.
Metronomie, Aufgaben 3.
Michelsons Auswertung des Meters in Lichtwellenlängen 144.
Mikrometerschraube 47.
Mikroskop 11.
Milligrammwaage 93.

N.

Naphtalinsiedepunkt 66.
Neigemanometer 55.
Newton'sche Ringe 142.
Nickelstahl 59.
Nonius 12.
Normalbarometer 51, 115.
Normale von Massen 103.
—, Aufbewahrung 106.
—, Material 104.
Normalschwere 116.
Normaltemperatur eines Maßstabes 60.

O.

Oberflächenkondensationen 120.
Okularmikrometer 13.

P.

Periodische Schraubenfehler 36.
Pfundmaße 5.
Phasensprung 143.
Platinthermometer 65.
Prototype 9, 10.
Psychrometer 116.
Pulfrich's Fizeauscher Apparat 72, 75.
Pyknometer 125.

Q.

Quarzglas 59.
Quarzring nach Pulfrich 72.
Quecksilber, Dichte bzw. spezifisches Gewicht 137, 161.
Quecksilbermeniskus, Volumen 136, 163.
Quecksilbersäulen, Messung d. Höhenunterschiede 50.
Quecksilberthermometer 62.
Querschnittsbestimmung von Drähten 125.

R.

Raumaß 7.
Raummessungen 124.
Rayleigh'sches Neigemanometer 55.
Refraktionsvermögen, Gesetz vom konstanten 73.
Reißerwerk 24.
Reitergewichte 87.

S.

Sättigungsdruck des Wasserdampfes 53, 56, 116, 161.
Schädliches Volumen 141.
Schraubenfehler 35.
—, fortschreitende 36.
—, periodische 36.
Schraubenmikrometer 13.
Schraubenteilmaschine 23.
Schwefelsäure - Wasser - Mischungen, Feuchtigkeit oberhalb 117.
Schwefelsiedepunkt 66.
Schwere, Änderung mit der Höhe 111.
Schwerereduktion 116.
Sekundenpendel als Längeneinheit 5.
Sicherungen des metrischen Maßsystems 142.
Siedepunkte 79.
Skale der Temperatur 61.
Spannkraft des Wasserdampfes 116.
Spektrallinien für metronomische Zwecke 76.
Spektralröhren, Füllung 76.
Spezifisches Gewicht 126.
— — des Quecksilbers 137, 161.
— — des Wassers 127, 162.
Sphärometer 49.
Spiegelungsgesetze zur Messung des Höhenunterschiedes von Quecksilbersäulen 53.
Spitzenmanometer 55, 56.
Spitzenwaage 93.
Stabthermometer 65.
Stangenzirkel 11.
Strichmaße 10.
— und Endmaße, Vergleichung 44.
Stückelung von Massensätzen 107.
Substitutionswägung nach Borda 95.

T.

Tabellen 160.
Talbot'sche Interferenzstreifen 158.
Teilmaschine 23.
Teilungen, Herstellung 23.
—, Untersuchung 24, 28, 29, 32.
Teilungsfehler, Gesamt- 24.
—, innere 25, 28, 29, 32.
Temperatureinfluß bei Längenmessungen 58.
Temperaturskale 61.
Thermodynamische Temperaturskale 61.

Thermoelement 67.
Thermometerkalibrierung 31, 32, 62.
Thiesensche Methode des Durchschiebens zur Untersuchung von Teilungen 32.
— — der Messung des Höhenunterschiedes von Quecksilbersäulen 52.
Toise 6.
Toter Gang von Schrauben 35.
Transversalkomparator 15.

U.

Unterteilung von Endmaßen 47.
— von Massensätzen 107.

V.

Vakuum, Wägungen im 119.
Vakuummantelgefäß 82.
Vakuumwage 88.
— als Hygrostat 123.
Vereinheitlichung des Maßsystems 5.
Vergleichung nahe gleicher Massen 101.
Verhältnis der Hebelarme einer Wage 99.
Vertauschungswägung n. Gauß 96.
Visiere, optische 11, 51, 52.
Vollständige Wägung 99.
Volumenbestimmung durch Linear-
messung 124.
— aus Masse und Dichtigkeit 125.
— durch Wägung in einer Flüssig-
keit 126.
Volumenometer 138.

W.

Wägung, vollständige 99.
— durch Substitution nach Borda 95.
— durch Vertauschen nach Gauß 96.
—, Ausführung einer hydrostatischen 131.
—, Einfluß äußerer Verhältnisse 111.
—, Einfluß der Luftdichte 112.
Wärmeausdehnung 58.
—, Messung auf dem Komparator 67.
—, — nach der Interferenzmethode 71.
—, — durch Wägung 77.
Wage, gleicharmige 83.
— —, Aufstellung 87.
— —, Beschreibung 88, 93.
— —, Empfindlichkeit 85, 96, 100.
— —, Gleichgewichtslage 94.
— —, Theorie 84.
Wasser, Dichte bzw. spezifisches Gewicht 127, 162.
Wasserdampf, Sättigungsdruck bzw. Spannkraft 53, 56, 116, 161.
Wasserstoffthermometer 62.
—, Reduktion der Angaben von Quecksilberthermometern auf das 64.
Wild-Fuesssches Normalbarometer 51, 115.

Z.

Zeiteinheit 2.

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig

Die Wissenschaft

Sammlung naturwissenschaftlicher und
⊠ mathematischer Einzeldarstellungen ⊠



.....

Die Entwicklung der einzelnen Wissenschaften zu verfolgen wird nur dann möglich sein, wenn in nicht zu langen Zwischenräumen übersichtliche Darstellungen über begrenzte Teile derselben erscheinen. Dadurch wird auch dem Spezialforscher ein Einblick in Nebengebiete eröffnet. Diesem Zwecke dienend, also nicht populär im gewöhnlichen Sinne des Wortes, entnehmen die Einzeldarstellungen der „Wissenschaft“ ihren Stoff der Mathematik, den anorganischen und den organischen Naturwissenschaften und deren Anwendungen; auch Biographien von großen Gelehrten und historische Darstellungen einzelner Zeiträume hat sich die unter besonderer Mitwirkung von Prof. Dr. GILHARD WIEDEMANN-Erlangen erscheinende Sammlung zum Ziel gesetzt.

∴ Durch sämtliche Buchhandlungen zu beziehen ∴

Verzeichnis der Mitarbeiter

Dr. Otto Freiherr von und zu Aufsess, München	Heft 4
Prof. Dr. H. Baumhauer, Freiburg i. Schweiz	" 7
Prof. V. Bjerknes, Christiania	" 28
Mme. S. Curie, Paris	" 1
Prof. Dr. B. Dessau, Perugia	" 33
Prof. Dr. C. Doelter, Graz	" 13
Prof. Dr. B. Donath, Charlottenburg	" 14
Dr. Wilh. R. Eckardt, Aachen	" 31
Privatdozent Dr. Edwin S. Faust, Straßburg	" 9
Prof. Dr. Otto Fischer, Leipzig	" 18
Dr. Otto Frölich, Berlin	" 5
Privatdozent Dr. E. Gehrcke, Berlin	" 17
Prof. Dr. F. E. Geinitz, Rostock	" 16
Prof. Dr. Josef Ritter von Geitler, Czernowitz	" 6
Prof. Dr. Hermann Gutzmann, Berlin	" 29
Prof. Dr. G. Jäger, Wien	" 12
Prof. Dr. Albert Jesionek, Gießen	" 32
Dr. phil. Walter von Knebel, Groß-Lichterfelde (†)	" 15
Prof. Dr. Hermann Kobold, Kiel	" 11
Prof. Dr. Edm. König, Sondershausen	" 22
Prof. Dr. J. P. Kuenen, Leiden	" 20
Privatdozent Dr. G. F. Lipps, Leipzig	" 10
Prof. H. Mache, Wien	" 30
Prof. Dr. Joh. Bapt. Messerschmitt, München	" 27
Dr. Rob. Pohl, Berlin	" 34
Prof. E. Rutherford, Montreal	" 21
Privatdozent Dr. Otto Sackur, Breslau	" 24
Prof. Dr. G. C. Schmidt, Königsberg	" 2
Prof. Dr. Julius Schmidt, Stuttgart	" 23
Prof. E. v. Schweidler, Wien	" 30
Prof. Dr. J. J. Thomson, Cambridge	" 3
	" 25
Dr. P. Vageler, Königsberg i. Pr.	" 26
Prof. Dr. A. Wangerin, Halle a. S.	" 19
Prof. Dr. A. Werner, Zürich	" 8

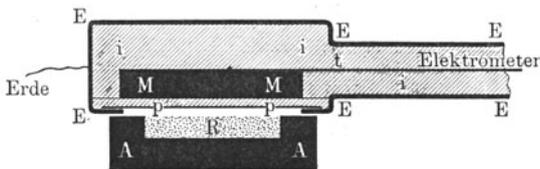
(Weitere Hefte in Vorbereitung)

Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen

Von *Mme. S. Curie*. Übersetzt und mit Literatur-Ergänzungen versehen von *W. Kaufmann*.
Dritte Auflage. Mit 14 Abbildungen. VIII, 132 S.
1904. Geh. M 3.—, geb. M 3.80.

Inhaltsverzeichnis. Einleitung. — 1. Kapitel. Radioaktivität des Urans und Thors. Radioaktive Mineralien. a) Becquerelstrahlen; b) Messung der Strahlungsintensität; c) Radioaktivität der Uran- und Thorverbindungen; d) Ist die Radioaktivität der Atome ein allgemeines Phänomen? e) Radioaktive Mineralien. — 2. Kapitel. Die neuen radioaktiven Substanzen. a) Untersuchungsmethoden; b) Polonium, Radium, Aktinium; c) Spektrum des Radiums; d) Abscheidung der neuen radioaktiven Substanzen; e) Polonium; f) Herstellung des reinen Radiumchlorids; g) Bestimmung des Atomgewichtes des Radiums; h) Eigenschaften der Radiumsalze; i) Fraktionierung gewöhnlichen Baryumchlorids. — 3. Kapitel. Strahlung der neuen radioaktiven Substanzen. a) Methoden zur Untersuchung der Strahlen; b) Energie der Strahlung; c) Zusammengesetzte Natur der Strahlung; d) Wirkung des Magnetfeldes; e) Ablenkbarer β -Strahlen; f) Ladung der ablenkbaren Strahlen; g) Wirkung des elektrischen Feldes auf die ablenkbaren β -Strahlen des Radiums; h) Verhältnis von Ladung zur Masse eines vom Radium emittierten negativ geladenen Teilchens; i) Wirkung des Magnetfeldes auf die α -Strahlen; k) Wirkung des Magnetfeldes auf die Strahlen anderer radioaktiver Substanzen; l) Verhältnis der ablenkbaren β -Strahlen in der Radiumstrahlung; m) Durchdringungsvermögen der Strahlung der radioaktiven Substanzen; n) Ionisierende Wirkung der Radiumstrahlen auf isolierende Flüssigkeiten; o) Verschiedene Wirkungen und Anwendungen der ionisierenden Wirkung der Strahlung radioaktiver Körper; p) Fluoreszenz- und Lichtwirkungen; q) Entwicklung von Wärme durch Radiumsalze; r) Chemische Wirkungen der neuen radioaktiven Substanzen. Färbungen; s) Gasentwicklung in Gegenwart von Radiumsalzen; t) Entstehung von Thermolumineszenz; u) Radio-graphien; v) Physiologische Wirkungen; w) Wirkung der Temperatur auf die Strahlung.

— 4. Kapitel. Induzierte Radioaktivität. a) Mitteilung der Radioaktivität an ursprünglich inaktive Substanzen; b) Aktivierung in geschlossenem Gefäß; c) Rolle der Gase bei den Erscheinungen der induzierten Radioaktivität. Emanation; d) Entaktivierung fester aktivierter Körper in freier Luft; e) Entaktivierung in geschlossenem Gefäß; f) Zerstörungsgeschwindigkeit der Emanation; g) Natur der Emanation; h) Änderung der Aktivität aktivierter Flüssigkeiten und radiumhaltiger Lösungen; i) Theorie der Radioaktivität; j) Andere Form induzierter Radioaktivität; k) Langsam entstehende induzierte Radioaktivität; l) Induzierte Radioaktivität auf mit Radium zusammen gelösten Substanzen; m) Zerstreuung radioaktiven Staubes und induzierte Aktivität des Laboratoriums; n) Aktivierung ohne Mitwirkung radioaktiver Substanzen; o) Änderung der Aktivität radioaktiver Körper; Wirkung der Auflösung; p) Änderung der Aktivität radioaktiver Körper; Wirkung der Erhitzung; q) Theoretische Deutung der Aktivitätsänderungen der Radiumsalze durch Auflösung oder Erhitzung. — 5. Kapitel. Natur und Ursache der Erscheinungen der Radioaktivität.



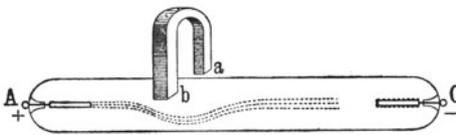
Die Kathodenstrahlen

Von **Dr. G. C. Schmidt**, a. o. Prof. der Physik an der
Universität Königsberg. Zweite verbesserte und ver-
mehrte Auflage. Mit 50 Abbildungen. VII, 127 S.
1907. Geh. M 3.—, geb. M 3.60.

Inhaltsverzeichnis. Einleitung, 1. Kapitel, Das Wesen des Lichtes. Der Äther. — 2. Kapitel, Neuere Ansichten über die Leitung der Elektrizität durch Elektrolyte. — 3. Kapitel, Apparate zur Erzeugung von Kathodenstrahlen. — 4. Kapitel, Die Entladung in verdünnten Gasen. Die Kathodenstrahlen. — 5. Kapitel, Ältere Theorien über den Entladungsvorgang. — 6. Kapitel, Ladung der Kathodenstrahlen. — 7. Kapitel, Potentialgradienten und Kathodenfall in Entladungsröhren. — 8. Kapitel, Kathodenstrahlen im elektrostatischen Felde. — 9. Kapitel, Kathodenstrahlen im magnetischen Felde. — 10. Kapitel, Energie und Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen. — 11. Kapitel, Zeeman-Effekt. — 12. Kapitel, Kathodenstrahlen verschiedenen Ursprungs. — 13. Kapitel, Bestimmung von e und m . — 14. Kapitel, Scheinbare Masse. — 15. Kapitel, Fluoreszenzerregung und chemische Wirkung der Kathodenstrahlen. — 16. Kapitel, Reflexion, Absorption, Spektrum und Bahn der Kathodenstrahlen in einer Entladungsröhre. — 17. Kapitel, Kanalstrahlen. — 18. Kapitel, Schluß. — Literaturübersicht.

Aus den Besprechungen.

Allgemeines Literaturblatt. „Die Aufklärungen über das scheinbar so rätselhafte Verhalten der radioaktiven Substanzen sind vom Verfasser in ausnehmend interessanter und instruktiver Weise dargelegt und dürfen wohl das weiteste Interesse für sich in Anspruch nehmen. Die atomistische Theorie der Elektrizität, welche endlich verspricht, einen Einblick in das Wesen der elektrischen Erscheinungen zu geben und die Frage zu be-



antworten, deren Lösung jahrhundertlang unmöglich schien: Was ist Elektrizität? basiert auf der Untersuchung der Kathodenstrahlen. Das für weitere Kreise verständlich geschriebene Buch

kann wärmstens empfohlen werden. Die Behandlung des Themas ist einfach und gründlich; besonders ist auch die Beigabe einer großen Anzahl höchst klarer, schematischer Zeichnungen zu loben, welche die textliche Klarheit des Buches noch bedeutend erhöhen.“

Elektrizität und Materie

Von **Dr. J. J. Thomson**, Mitglied der Royal Society,
Professor der Experimentalphysik an der Universität in Cambridge.
Autorisierte Übersetzung von **G. Siebert**.
Zweite verbesserte Auflage. Mit 21 Abbildungen.
VIII, 116 S. 1909. Geh. M 3.—, geb. M 3.60.

Inhaltsverzeichnis. 1. Kapitel. Darstellung des elektrischen Feldes durch Kraftlinien. — 2. Kapitel. Elektrische und gebundene Masse. — 3. Kapitel. Wirkungen der Beschleunigung der Faradayschen Röhren. — 4. Kapitel. Die atomistische Struktur der Elektrizität. — 5. Kapitel. Konstitution des Atoms. — 6. Kapitel. Radioaktivität und radioaktive Substanzen. 7. Kapitel. Materie und Äther.

Aus den Besprechungen.

Literarisches Zentrablatt. „Eine Reihe geistvoller Vorträge, in welchen die Bedeutung der neuen Fortschritte in der Elektrizitätslehre für unsere Ansichten über die Konstitution der Materie und die Natur der Elektrizität erörtert wird. Ihre Bedeutung liegt vor allem darin, daß sie eine auch weiteren Kreisen verständliche Verbindung zwischen den Maxwell-Faradayschen Vorstellungen und der modernen Elektronentheorie darstellen und dabei gleichzeitig des berühmten Verfassers eigene Anschauungen über den Aufbau der Atome entwickeln, wobei die radioaktiven Elemente eine besonders eingehende Besprechung erfahren. Die Ausführungen enthalten nur vereinzelte mathematische Ableitungen und können jedem Studierenden empfohlen werden.“

Chemiker-Zeitung. ... „Zu der Entwicklung der Elektronik, dieser neuen Disziplin der Physik, hat kaum jemand mehr beigetragen als J. J. Thomson ... Es ist deshalb mit besonderer Freude zu begrüßen, daß dieser bahnbrechende Forscher es unternommen hat, seine „Ansichten über die Natur der Elektrizität, über die Vorgänge, welche im elektrischen Felde stattfinden, und über den Zusammenhang zwischen elektrischer und gewöhnlicher Materie“ in einer so anschaulichen und anregenden Weise darzulegen, daß jeder Naturwissenschaftler, nicht nur der Physiker, das Buch verstehen kann und durch die Lektüre reichen Genuß und Gewinn haben wird. ... Für den Physiker, speziell für den Lehrer der Physik, eine Fundgrube anschaulicher Darstellungen und Gedankengänge. Für den Nichtphysiker eine Anleitung, nicht mühselos, aber doch ohne das schwere Rüstzeug der höheren Mathematik, sich einen Einblick zu verschaffen in die Überlegungen, welche aus den Untersuchungen über Kathodenstrahlen, Röntgenstrahlen und Radioaktivität zu dem Begriffe des Elektrons, des Atoms der Elektrizität, geführt haben.“

Die physikalischen Eigenschaften der Seen

Von *Dr. Otto Freiherr von und zu Aufsess*,
Assistent für Physik an der Kgl. techn. Hochschule in München.
Mit 36 Abbildungen. X, 120 S. 1905. Geh. M 3.—,
geb. M 3.60.

Inhaltsverzeichnis. Vorbemerkungen: Die Oberfläche eines Sees als Teil der Erdoberfläche. Dichte des Wassers. Hydrostatischer Druck. Kompressibilität des Wassers. — Erster Teil. Mechanik. 1. Fortschreitende Wellen. 2. Stehende Wellen (Seiches). 3. Strömungen. — Zweiter Teil: Akustik. 1. Fortpflanzung des Schalles im Wasser. 2. Fortpflanzung des Schalles an der Oberfläche eines Sees. — Dritter Teil: Optik. 1. Durchsichtigkeit des Seewassers: A. Bestimmung der Durchsichtigkeit durch Versenken eines Gegenstandes; B. Bestimmung der Durchsichtigkeit durch Aufsuchen der Lichtgrenze im See. 2. Erscheinungen der Reflexion, Brechung und Farbenzerstreuung: A. Allgemeine Gesetze; B. Reflexionserscheinungen; C. Brechungserscheinungen; D. Dispersionserscheinungen. 3. Selektive Absorption des Lichtes im Seewasser: A. Allgemeine Theorie; B. Lichtabsorption im Wasser. 4. Polarisation des Lichtes im Wasser. 5. Die Farbe der Seen. — Vierter Teil: Thermik. 1. Thermometrie: A. Allgemeine Thermometrie; B. Spezielle Thermometrie: Oberflächentemperaturen; Tiefentemperaturen; Eisverhältnisse. 2. Kalorimetrie. Schlußbemerkung. Literaturverzeichnis.

Aus den Besprechungen.

Blätter für höheres Schulwesen. „Die Darstellung ist ganz elementar und sehr klar gehalten. Der Inhalt gliedert sich naturgemäß in die Mechanik, Akustik, Optik und Thermik der physikalischen See-Erscheinungen. Besonders interessant sind die Untersuchungen über den so viel diskutierten Grund der Verschiedenfarbigkeit der Seen. Die Erscheinungen des Wasserschattens werden mit dem Brockengespenst in zutreffende Parallele gestellt. Aber von dem allergrößten Interesse sind S. 63 ff. die Ausführungen über die Brechungserscheinungen beim Übergange des Lichtes von Wasser in Luft. Es wird hier ganz elementar nachgewiesen, wie relativ und einseitig unsere Erkenntnis der Dinge ist. Wir sehen alle Gegenstände nur durch das Medium Luft, ein Wasserbewohner sieht dieselben Gegenstände durch das Medium Wasser ganz anders als wir, ja er sieht sogar Sachen, die wir als aus einem Stücke bestehend, als kontinuierliche Massen bezeichnen, in Stücke zerteilt!! Das Buch sei auch für die Schüler der obersten Klasse empfohlen.“

Himmel und Erde. „Was der Physiker vom weitverbreitetsten Stoffe auf unserem Erdball, dem Wasser, zu sagen weiß, ist fast lückenlos in dem Aufsessschen Buche zusammengefaßt worden. Wir erfahren etwas über die Wellenbewegung an der Oberfläche, die Strömungen, Fortpflanzung des Schalles im Wasser, über die Durchsichtigkeit und die thermischen Verhältnisse. Besonders eingehend behandelt der Verfasser auf Grund eigener Versuche die Durchsichtigkeit und Farbe der Gebirgsseen, wobei er die Frage entscheidet, ob letztere chemischer oder physikalischer Art ist. Wir empfinden das Buch besonders allen denen, die es lieben, ihre Erholung in einer liebevollen Betrachtung der Natur zu suchen.“

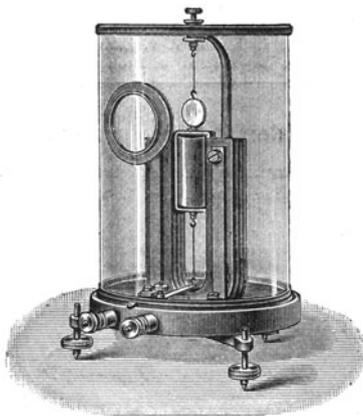
Die Entwicklung der elektrischen Messungen

Von Dr. O. Frölich. Mit 124 Abbildungen.

XII, 192 S. 1905. Geh. M 6.—, geb. M 6.80.

Inhaltsverzeichnis. Die Meßinstrumente. Die Strommesser. a) Die ersten Galvanometer. Oersted, Schweigger, Ohm, Ampère, Biot-Savart, Nobili, H. Davy, Faraday. Kalibrierung. Methode von Petrina. Formel von Poggendorff. b) Die Spiegelgalvanometer. Gauss. Spiegelablesung. Gauss und W. Weber. Coulomb. Methoden von W. Weber. Telegraphie und Spiegelgalvanometer. Dämpfung. Spätere Spiegelgalvanometer. Spiegelgalvanometer mit Drehspule. c) Galvanometer mit direkter Ablesung und absoluten Angaben. Elektromagnetische Wage. Sinusbussola. Tangentenbussola. Pouillet. Helmholtz. Gaugain. Riecke. Absolutes Maßsystem. Torsionsgalvanometer von Siemens und Halske. Instrumente von Weston. Elektrolytische Strommesser. d) Schalttafelinstrumente. Erfordernisse von Schalttafelinstrumenten. Schalttafel-

instrumente mit permanenten Magneten und beweglicher Stromspule. Carpentier. Schalttafelinstrumente mit Eisenkernen. Hitzdrahtinstrumente. e) Galvanoskop. Anwendung für Telegraphie und Messungen. f) Elektrodynamometer und Wechselstrommesser. Elektrodynamometer von W. Weber. Spätere Elektrodynamometer. Andere Instrumente für Wechselstrom. Technische Elektrodynamometer. Energiemessung mittels Elektrodynamometer. Neuere technische Elektrodynamometer. Ferrarisinstrumente. Spannungsmesser. Übersicht. Elektrostatische Spannungsmesser. Kapillarelektrometer. Widerstandsapparate. Maßeinheiten. Widerstandskalen. Kondensatoren. Selbstinduktionsskalen. Apparate zur Messung magnetischer Eigenschaften. Elektrische Wärmemesser. Elektrizitätszähler. Uhrzähler. Motorzähler. Induktionszähler. Elektrische Registrierapparate. Elektrische Registrierungen. Registrierung elektrischer Vorgänge. Oszillographen. Widerstandsmesser. Elektrische Geschwindigkeitsmesser. Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft. — Die Meßmethoden. Die Methoden der Strommessung. Die Methoden der Spannungsmessung. Spannungsmessung durch Strommessung. Spannungsmessung mittels Normalelemente. Transformation der Spannung. Die Methoden der Widerstandsmessung. Methoden von W. Weber. Wheatstone'sche Brücke. Formen der Meßbrücke. Temperaturmessung mittels Meßbrücke. Sehr kleine Widerstände; Thom-son'sche Meßbrücke. Sehr hohe Widerstände; Kabelmessungen. Einfluß von Ladung und Selbstinduktion. Einfluß von elektromotorischen Kräften; Widerstand von Zersetzungszellen, Batterien usw. Neumann, Kohlrausch. Manco. Lutteroth. Frölich. Fehlerbestimmungen. Messung des Widerstandes aus Strom und Spannung. Isolationswiderstand von Anlagen im Betriebe. Methoden zur Bestimmung der Selbstinduktion. Methoden von Maxwell. Neuere Methoden. Wien. Messungen für Fernsprechzwecke. Die Methoden der Wechselstrommessung. Zusammenstellung. Rückblick.



Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

Von **Dr. Josef Ritter von Geitler**, *außerordentl. Professor der Physik an der k. k. Deutschen Universität Prag.*
Mit 86 Abbildungen. VIII, 154 S. 1905. Geh. M 4.50,
geb. M 5.20.

Inhaltsverzeichnis. Einleitung. I. Kapitel. Theorie der Fernwirkungen. Isaac Newton. — II. Kapitel. Theorie der vermittelten Fernwirkung. I. Abschnitt: Michael Faraday. Das magnetische Feld. Das elektrische Feld. Der elektrische Strom. Das elektromagnetische Feld. Die Induktionserscheinungen. Die Erscheinungen der Selbstinduktion. Elektrische Schwingungen. Einige Grundbegriffe aus der Lehre von den Schwingungen. II. Abschnitt: James Clerk Maxwell. Die kritische Geschwindigkeit. Elektromagnetische Lichttheorie. III. Abschnitt: Heinrich Rudolf Hertz. IV. Abschnitt: Die weitere Entwicklung. Methoden zur Beobachtung Hertzscher Wellen. Die elektromagnetischen Wellen und die Optik. a) Längste Wärme- und kürzeste elektrische Wellen. b) Nachahmung optischer Versuche mit Hertzschen Wellen. c) Optische Analogien von Versuchen mit Hertzschen Wellen. d) Der Interferenzversuch von V. v. Lang. e) Spektralanalyse der elektromagnetischen Strahlung. f) Rolle des Leiters bei Drahtwellen. g) Die drahtlose Telegraphie. — Namenverzeichnis.

Aus den Besprechungen.

Annalen der Elektrotechnik. ... „Die vom Verfasser gewählte Art der Darstellung folgt der historischen Entwicklung des Gegenstandes bis in die



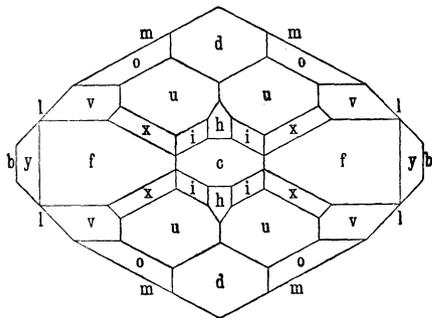
neueste Zeit und stellt an die mathematische Vorbildung seiner Leser nur die bescheidensten Ansprüche. Die Behandlung des Stoffes ist ausgezeichnet, die Gliederung klar und deutlich, die 86 gut ausgeführten Textfiguren unterstützen und erleichtern ganz wesentlich das Verständnis der für den Nichtphysiker immerhin schwierigen Materie. Da auch die Ausstattung und der Druck in gediegener Weise ausgeführt ist, so kann das Buch auf das wärmste empfohlen werden. Für den Studenten der Physik und Elektrizitätslehre ist das Bändchen als erste Einführung

in das genannte Gebiet von großem Nutzen, es gibt aber auch dem gebildeten Nichtphysiker, besonders dem praktischen Elektrotechniker und Ingenieur einen bequemen Überblick über die einschlägigen theoretischen Probleme und deren experimentelle Lösung.“

Die neuere Entwicklung der Kristallographie

Von *Dr. H. Baumhauer*, Professor an der Universität
zu Freiburg i. a. Schweiz. Mit 46 Abbildungen. VIII,
184 S. 1905. Geh. M 4.—, geb. M 4.60.

Inhaltsverzeichnis. I. Abschnitt. Einleitung. Wesen und Definition eines Kristalls. Fließende und flüssige Kristalle. Zonengesetz und Gesetz der rationalen Achsenschnitte. Kristallographische Symbole. Linearprojektion, gnomonische und sphärische Projektion. Kohäsionsminima innerhalb der Kristalle. — II. Abschnitt. Kristallklassen und Pseudosymmetrie. Einteilung der Kristalle in 32 Klassen. Symmetrieelemente: Zentrum der Symmetrie, Symmetrieebenen, Deck- und Spiegelachsen. Kristallsysteme. Spezielle Ableitung und Besprechung der einzelnen Kristallklassen. Ableitung derselben auf Grund der Deck- und Spiegelachsen. Übersicht über die 32 möglichen Kristallklassen. Pseudosymmetrische Kristalle. — III. Abschnitt. Ermittlung der Symmetrieverhältnisse der Kristalle. Goniometrische Untersuchung, zweikreisiges Goniometer. Physikalische Eigenschaften der Kristalle, insbesondere optisches Verhalten; Zirkularpolarisation optisch-einachsiger und -zweiachsiger Kristalle. Polare Pyroelektrizität. Ätz- oder Lösungserscheinungen. Geometrische Anomalien (vizinale Flächen). Optische Anomalien. Anomale Ätzfiguren. Allgemeinerer Bedeutung der Ätzerscheinungen. — IV. Abschnitt. Zwillingsbildung der Kristalle. Zwillingsachsen u. Zwillings-ebenen. Allgemeine Zwillingsgesetze. Ableitung der verschiedenen möglichen Fälle von Zwillingsbildung.



Deutung des Vorganges der Zwillingsbildung. Translationsflächen als Zwillings-ebenen. Zwillinge von enantiomorphen Kristallen. Begünstigung der Zwillingsbildung. Polysynthetische Verwachsung pseudosymmetrischer Kristalle, Mimesis. — V. Abschnitt. Flächenentwicklung und Wachstum der Kristalle. Entwicklung der Kristallflächen innerhalb der Zonen, Gesetz der Komplikation. Beobachtungen an flächenreichen Zonen; primäre Reihen, sekundäre und tertiäre Flächen. Raumgitter und regelmäßige Punktsysteme. Elementarparallelogramm und Häufigkeit einer Fläche. Einfluß des Lösungsmittels auf die Form der sich auscheidenden Kristalle. Untersuchungen über das Wachstum der Kristalle. — VI. Abschnitt. Chemische Kristallographie. Isomorphie. Definition derselben. Morphotropie. Topische Achsen. P. v. Groths neuere Auffassung der Kristallstruktur, Morphotropie und Isomorphie. Polymorphe (monotrope und enantiotrope) Modifikationen. Mischungen isodimorpher Körper. Beziehungen zwischen der chemischen Formel und dem Kristallsysteme einer Verbindung. — Anhang. Kristallklassen, Namen und Symbole der Formen nach P. v. Groths physikalischer Kristallographie.

Neuere Anschauungen auf dem Gebiete der anorg. Chemie

Von Prof. Dr. A. Werner in Zürich. Zweite
Auflage. XV, 292 S. 1909. Geh. M 9.—, geb. M 10.—.

Inhaltsverzeichnis. I. Die Elemente. 1. Der Elementenbegriff. 2. Systematik — II. Die chemischen Verbindungen. A. Allgemeiner Teil. Lehre von der Valenz. I. Entwicklungsgang der Wertigkeitslehre. II. Über die Valenzzahlen. 1. Die Hauptvalenzzahl. 2. Die Nebenvalenzzahl. 3. Die Koordinationszahl. 4. Die ionogene Nebenvalenzzahl. III. Über die Valenzeinheiten. 1. Einleitung. 2. Definition von Haupt- und Nebenvalenzen. 3. Die Valenzeinheit als gerichtete Einzelkraft. 4. Über das Wesen der Haupt- und Nebenvalenzen. Der übereinstimmende Charakter von Haupt- und Nebenvalenzen. 5. Der elektrochemische Begriff der Hauptvalenz. 6. Der Affinitätswert der Valenzbindungen. IV. Schlußbetrachtungen über Affinität und Valenz. B. Systematischer Teil. I. Die Verbindungen erster Ordnung. 1. Halogenosalze und analoge Verbindungen. 2. Verbindungen höherer Ordnung mit Oxyden, Sulfiden usw.: Die Anlagerungsverbindungen; Die Einlagerungsverbindungen. 3. Verbindungen höherer Ordnung mit Nitriden, Phosphiden usw.: Anlagerungsverbindungen; Einlagerungsverbindungen. 4. Verbindungen höherer Ordnung mit Karbiden. 5. Verbindungen höherer Ordnung mit verschiedenen Molekülkomponenten: Anlagerungsverbindungen; Einlagerungsverbindungen. 6. Über mehrkernige Metallammoniake. 7. Über koordinativ ungesättigte Einlagerungsverbindungen. 8. Die Koordinationsverbindungen der Wasserstoffverbindungen. 9. Theorie der Basen und Säuren. 10. Über die inneren Metallkomplexsalze. 11. Über Komplexverbindungen mit negativen Zentralatomen. 12. Über Nebenvalenzverbindungen von Elementen. 13. Allgemeine Betrachtungen über die Bildung von Verbindungen höherer Ordnung. III. Lehre von der Isomerie bei anorganischen Verbindungen. 1. Polymerie. 2. Koordinationsisomerie. 3. Hydratisomerie. 4. Ionisationsmetamerie. 5. Salzisomerie. 6. Strukturisomerie. 7. Raumisomerie. 8. Valenzisomerie. 9. Unaufgeklärte Isomerieerscheinungen.

Aus den Besprechungen.

Chemiker-Zeitung. „Die zweite Auflage des eben genannten Buches, dessen erste Auflage den Lesern dieser Zeitung bestens empfohlen wurde, ist aus dieser durch eine eingehende Umarbeitung und Durcharbeitung unter Berücksichtigung des inzwischen neu gefundenen Tatsachenmaterials entstanden. Ein Hauptunterschied beider Auflagen besteht in der Anordnung. Während in dem früheren zweiten Hauptteile über Verbindungen erster Ordnung und in dem dritten Hauptteile über Verbindungen höherer Ordnung jedesmal die betreffenden Valenzfragen zunächst behandelt und dann die Systematik der Stoffe gegeben wurde, sind jetzt beide Hauptteile vereinigt, wodurch es ermöglicht wurde, die Valenzfragen im Zusammenhange darzustellen. Meines Erachtens hat das Werk dadurch an Klarheit und Übersichtlichkeit erheblich gewonnen. Und das ist gut. Werners gedankenreiche Darlegungen stürzen alte eingewurzelte Anschauungen und setzen Neues an ihre Stelle. Dem zu folgen, erfordert tüchtige Mitarbeit, und jede Erleichterung dabei wird vom Leser mit Dank entgegengenommen. Im speziellen Teile wird die Theorie der Hydrate, der Hydrolyse, der Ammoniumverbindungen besonderes Interesse erwecken.“

Heinrich Biltz.

Die tierischen Gifte

Von **Edwin S. Faust**, Dr. phil. et med., Privatdozent
der Pharmakologie an der Universität Straßburg. XIV, 248 S.
1906. Geh. M 6.—, geb. M 6.80.

Inhaltsverzeichnis. Vorwort. — Einleitung. Zweck und Nutzen einer zusammenfassenden Behandlung der tierischen Gifte. Begriffsbestimmung. Was gehört zu den tierischen Giften? „Aktiv“ und „passiv“ giftige Tiere. Eigentliche Gifte und gelegentlich die Gesundheit schädigende tierische Produkte. Zoonosen. Historisches über tierische Gifte. Aberglauben. Entwicklung unserer Kenntnisse über dieselben. Praktische Bedeutung der tierischen Gifte für die sie produzierenden Tiere. Praktische Bedeutung der tierischen Gifte für den Menschen: Giftmord, Selbstmord, Hinrichtung von Verbrechern; Verwendung zur Herstellung von Pfeilgiften; Medizinale Vergiftungen durch tierische Gifte; Verwundung durch Bisse oder Stiche giftiger Tiere; Therapeutische Verwendung tierischer Gifte. Systematik. — **Wirbeltiere, Vertebrata.** Säugetiere, Mammalia. Ornithorhynchus paradoxus, Platypus. Das Adrenalin. Die Gallensäuren: Die pharmakologischen Wirkungen der Gallensäuren. Schlangen, Ophidia. Giftschlangen, Thanatophidia. Übersicht. Historisches. Begriffsbestimmung. „Giftige“ und „ungiftige“ Schlangen. „Verdächtige Schlangen“. Systematik und geographische Verbreitung der Giftschlangen. A. Colubridae venosae, Giftnattern. B. Viperidae. Solenoglypha, Röhrenzähler. Die Giftorgane der Schlangen. Die physiologische Bedeutung des Schlangengiftes. Über die Natur des Schlangengiftes. Wirkungen der Schlangengifte. Natürliche Immunität gewisser Tiere gegen Schlangengifte. Künstliche oder experimentelle Immunisierung gegen Schlangengifte. Angebliche Immunität gewisser Kategorien von Menschen gegen Schlangengift. Therapie des Schlangenbisses. Prophylaxe. Eidechsen, Sauria. Amphibien, Lurche; Amphibia. 1. Ordnung: Anura, schwanzlose Amphibien. 2. Ordnung: Urodela, geschwänzte Amphibien. Fische, Pisces. I. Giftfische. A. Fische, welche durch Biß vergiften. B. Fische, welche durch Stichwunden vergiften. C. Fische, welche ein giftiges Hautsekret bereiten. II. Giftige Fische. III. Vergiftung infolge des Genusses durch postmortale Veränderungen gesundheitsschädlich oder giftig gewordener Fische. — **Wirbellose Tiere, Avertebrata.** Muscheltiere, Lamellibranchiata. Gliederfüßer, Arthropoda. 1. Klasse: Spinnentiere, Arachnoidea. a) Ordnung Scorpionina. Arthrogastra, Gliederspinnen. b) Ordnung Araneina. c) Ordnung Solifugae, Walzenspinnen. d) Ordnung Acarina, Milben. 2. Klasse: Myriapoda, Tausendfüßer. a) Ordnung Chilopoda. b) Ordnung Chilognatha s. Diplopoda. 3. Klasse: Hexapoda, Insekten. a) Ordnung Hymenoptera, Hautflügler. Familie Apidae, Bienen. Familie Formicidae, Ameisen. b) Ordnung Lepidoptera, Schmetterlinge. c) Ordnung Coleoptera, Käfer. d) Ordnung Orthoptera, Geradflügler, Schrecken. e) Ordnung Diptera, Zweiflügler, Fliegen. Crustacea, Massenvergiftungen durch Crangon vulgaris. Würmer, Vermes. Plathelminthes, Plattwürmer. Nemathelminthes, Rundwürmer. Annelida, Ringelwürmer. Stachelhäuter, Echinodermata. Seesterne, Asteroidea. Seeigel, Echinoidea. Seewalzen, Seegurken, Holothurioida. Coelenterata (Zoophyta), Pflanzentiere. — Namenverzeichnis. — Sachregister.

Aus den Besprechungen.

Repertorium der Praktischen Medizin. ... „Wir haben bis jetzt ein Buch, das in dieser ausführlichen Weise vom Standpunkte des Zoologen, Pharmakologen, Physiologen und Pathologen die tierischen Gifte einer Betrachtung unterwirft, nicht gehabt. Ganz besonders wird uns das Kapitel über Schlangen und Schlangengifte, vor allem auch der physiologische und dann der therapeutische Teil interessieren, wobei der Autor alle Methoden eingehend beschreibt und auf ihren Wert prüft. Einen wertvollen Beitrag bieten die Darlegungen über Immunität und Immunisierung.“ ...

Die psychischen Maßmethoden

Von *Dr. G. F. Lipps*, Privatdozent der Philosophie
an der Universität Leipzig. Mit 6 Abbildungen. X, 151 S.
1906. Geh. M 3.50, geb. M 4.10.

Inhaltsverzeichnis. Erster Abschnitt. Psychologie und Naturwissenschaft. 1. Die empirische und die philosophische Weltbetrachtung. 2. Die Bewußtseinsinhalte. — Zweiter Abschnitt. Die Wahrscheinlichkeitslehre. 3. Gewißheit und Wahrscheinlichkeit. 4. Die Wahrscheinlichkeitsbestimmung. — Dritter Abschnitt. Die Maßbestimmungen bei der Berücksichtigung subjektiver Faktoren im Bereiche der naturwissenschaftlichen Forschung. 5. Die Beobachtungsfehler. 6. Die Ungenauigkeit der Sinneswahrnehmung und die sonstigen subjektiven Faktoren. — Vierter Abschnitt. Die psychophysischen Maßmethoden. 7. Der naturphilosophische Standpunkt Fechners und das psychophysische Grundgesetz. 8. Das Maß der Empfindlichkeit. 9. Die Methode der eben merklichen Unterschiede. 10. Die Methode der mittleren Fehler. 11. Die Methode der richtigen und falschen Fälle. 12. Die Methode der mittleren Abstufungen. 13. Die Beobachtungsreihen. 14. Das Fehlergesetz. 15. Die Mittelwerte der Beobachtungsreihen. — Fünfter Abschnitt. Das psychische Maß. 16. Die durch Fechner begründete Auffassungsweise des psychischen Maßes. 17. Ordnen und Messen. — Sechster Abschnitt. Die Methoden der psychischen Abhängigkeitsbestimmung. 18. Die Bestimmung des Grades der Abhängigkeit. 19. Der Typus der Beobachtungsreihe. 20. Die Zerlegung der Beobachtungsreihe in Komponenten und die Bestimmung der Unterschiedsschwelle. — Anhang. 21. Die Berechnung der Mittelwerte. — Literaturverzeichnis. — Register.

Aus den Besprechungen.

Literarisches Zentralblatt. „In der Literatur begegnet man noch so oft unklaren und fehlerhaften Anschauungen über die psychischen Maßmethoden, daß eine umfassende monographische Darstellung der letzteren sicher einem Bedürfnis entspricht. G. F. Lipps gibt nun in der Tat eine Monographie, welche auch zur ersten Einführung in das Gebiet sich recht gut eignet. Er hat sich dabei weiter die doppelte Aufgabe gestellt: einestheils zu zeigen, daß die von Fechner in Anlehnung an das gewöhnliche Fehlergesetz begründeten Maßmethoden unzureichend sind, und anderenteils den Weg anzugeben, auf dem man ohne Voraussetzung eines bestimmten Fehlergesetzes zu einer allen Bedürfnissen der experimentellen Psychologie genügenden Methode der Maß- und Abhängigkeitsbestimmung gelangt. An den Ausfall dieses letzteren Versuches knüpft sich in wissenschaftlicher Beziehung das Hauptinteresse an der Abhandlung des Verfassers.“

Physikalische Zeitschrift. „Wer den Wunsch hegt, einen Überblick über das Rüstzeug der messenden Psychologie zu gewinnen, dem wird das vorliegende zehnte Heft der Viewegschen Sammlung „Die Wissenschaft“ sehr willkommen sein. Das Buch wird sich bald einen größeren Freundeskreis erwerben.“

Der Bau des Fixsternsystems

mit besonderer Berücksichtigung der photometrischen Resultate

Von **Dr. Hermann Kobold**, *außerordentl. Professor*

an der Universität und Observator der Steinwarte in Kiel.

Mit 19 Abbildungen und 3 Tafeln. XI, 256 S. 1906.

Geh. M 6.50, geb. M 7.30.

Inhaltsverzeichnis. Einleitung. Erster Abschnitt. Die Instrumente und Beobachtungsmethoden. 1. Die Ortsbestimmung; Sternbilder, Sternnamen, Sternkoordinaten. Präzession. Relativer Ort. Verwandlung der Koordinaten. 2. Die Helligkeit: Visuelle Helligkeitsbestimmung. Die photometrische Skala. Die Photometer und ihre Theorien. Photographische Sterngrößen. Extinktion des Lichtes in der Atmosphäre und im Weltenraume. 3. Die Farbe der Gestirne. Die Schmidtsche Skala. Purkinje-Phänomen. 4. Das Spektrum, Vogels Sternklassen. Secchis, Pickerings, Lockyers Klassifizierung. 5. Die Entfernung: Wirkung auf den Ort der Gestirne. Absolute und relative Messung. Photographische Methode. Doppelsterne. Relative und absolute Parallaxe. 6. Die Bewegung: Die Eigenbewegung. Die Radialgeschwindigkeit. Die totale Bewegung. 7. Die Sternverteilung: Die scheinbare Verteilung. Zusammenhang zwischen Sternzahl, Helligkeit und Entfernung. Anwendung der Wahrscheinlichkeitslehre. — Zweiter Abschnitt. Die Einzelresultate. 1. Der Sternort: Sternkataloge, Sternkarten. Die Durchmusterungen. Die photographische Himmelskarte. 2. Die Helligkeit. Angaben des Ptolemäus. Schätzungen Argelanders und Goulds. Die photometrischen Messungen und ihre Vergleichung. Sterngröße nach den photographischen Aufnahmen. Photometrische Größe der Sonne. 3. Die Sternfarbe: Osthoffs Katalog. Potsdamer Katalog. Einfluß der Färbung auf die Helligkeitsmessung. 4. Das Spektrum: Spektroskopische Durchmusterungen. Verteilung der Spektren. Verteilung der Sterne der einzelnen Spektralklassen. 5. Die Entfernung: Die Einzelresultate. Sterne mit großer Parallaxe. Zusammenhang zwischen der Entfernung und der absoluten Helligkeit, bzw. dem Spektrum. 6. Die Bewegungen: Kataloge der Eigenbewegungen. Werte der Radialgeschwindigkeiten. Erklärung der Bewegungen. Herschels Arbeiten. Bessels Methode. Die Grundgleichungen zur Bestimmung der Sonnenbewegung. Argelanders, Airys Methode. Kapteyns Bestimmung. Größe der Sonnenbewegung nach diesen Methoden. Die Resultate aus den beobachteten Radialgeschwindigkeiten. Resultate aus den totalen Bewegungen. Unzulänglichkeit der Darstellung und ihre Ursachen. Nichtgeradlinige ungleichförmige Bewegung. Systematische Fehler der Eigenbewegungen. Beziehungen der Bewegungen zur Milchstraße. Schoenfelds Methode und deren Resultate. Bakhuyzens Untersuchungen. Kobolds neue Untersuchungen nach der Bessel-Koboldschen Methode und ihre Resultate. Gegenüberstellung. Gesetzmäßigkeiten in den Eigenbewegungen. Engere Sternsysteme. Beziehungen zwischen der Bewegung und der Helligkeit bzw. dem Spektraltypus. 7. Die scheinbare Verteilung der Sterne und ihre Beziehung zur Milchstraße: Herschels Eichungen. Struves Zählungen. Littrows Bearbeitung der B. D. Houzeaus Zählung. Goulds Kreis. Schiaparellis und Stratonoffs Arbeiten. Pickerings Untersuchungen. Seeligers Darstellung der Sternzahlen. — Dritter Abschnitt. Der Bau des Fixsternsystems. 1. Das Phänomen der Milchstraße: Die statistischen Resultate. Seeligers, Plassmanns, Eastons, Stratonoffs und Ristenparts graphische Darstellungen. Charakter und Struktur der Milchstraße. Lage der Milchstraße. 2. Die räumliche Anordnung des Universums: Herschels Sternsystem. W. Struves Theorie. Darstellung der Sternzahlen durch dieselbe. Wert für den Extinktionskoeffizienten. Schiaparellis Annahmen. Seeligers Lösung. Abhängigkeit der Entfernung von der Helligkeit und der Größe der Eigenbewegung. Gyldens und Kapteyns Ausdrücke für die mittlere Parallaxe. Comstocks Untersuchungen an sehr schwachen Sternen. 3. Die Bewegungen im Universum: Argelanders und Mädlers Hypothese. Beobachtungsergebnisse in Globularsystemen. Mathematische Darstellung. Untersuchung einzelner Spezialsysteme. — Schlußwort. — Anhang. 1. Tafel der Sterne mit bekannter Parallaxe. 2. Tafel der Sterne mit großer Eigenbewegung. 3. Literaturverzeichnis. — Register.

Die Fortschritte der kinetischen Gastheorie

Von **Dr. G. Jäger**, *Professor der Physik an der techn. Hochschule in Wien. Mit 8 Abbildungen. XI, 121 S. 1906. Geh. M 3.50, geb. M 4.10.*

Inhaltsverzeichnis. Einleitung: Grundriß der kinetischen Gastheorie. 1. Boyle-Charlessches Gesetz. 2. Avogadros und Gay-Lussacs Regel. 3. Daltons Gesetz. 4. Zahlenwert der Geschwindigkeit. 5. Maxwells Gesetz. 6. Mittlere Weglänge und Stoßzahl der Molekeln. 7. Spezifische Wärme. 8. Innere Reibung. 9. Wärmeleitung. 10. Diffusion. 11. Größe der Molekeln. 12. Abweichungen vom Boyle-Charlesschen Gesetz. 13. Das Virial. — I. Boltzmanns *H*-Theorem. II. Maxwell-Boltzmannsches Gesetz. III. Gültigkeit des Maxwell-Boltzmannschen Gesetzes für beliebig kleine Kraftfelder. IV. Die Zustandsgleichung schwach komprimierter Gase. V. Der Temperaturkoeffizient der inneren Reibung. VI. Der Temperatursprung bei der Wärmeleitung. VII. Die ideale Flüssigkeit. VIII. Innerer Druck der Flüssigkeiten. IX. Innere Reibung idealer Flüssigkeiten und Größe der Molekeln.

Aus den Besprechungen.

Chemiker-Zeitung. „Die ausführliche Einleitung des Werkchens gibt eine ausgezeichnete klare Darstellung der kinetischen Gastheorie. Schon wegen derselben kann das Büchlein, das aus der Feder des durch seine „theoretische Physik“ wohlbekannten Verfassers hervorgegangen ist, bestens empfohlen werden. Der Hauptteil ist zunächst Boltzmanns Untersuchungen gewidmet. Das *H*-Theorem und seine Beziehung zum zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie finden zuerst ihre Ableitung, sodann die Sätze über Geschwindigkeitsverteilung und Dichteverteilung in einem Gase, in dem innere und äußere Kräfte wirken. Der Verf. verfolgt hier anschauliche und originelle Methoden. Die Anwendung wird auf die Zustandsgleichung nicht zu stark komprimierter Gase gemacht, wobei der Verf. den Arbeiten von M. Reinganum folgt. Der Temperaturkoeffizient der inneren Reibung, der in letzter Zeit befriedigende Erklärung fand, wird ebenfalls besprochen. Es folgen die Untersuchungen von Smoluchowski über den Temperatursprung der Wärmeleitung in Gasen und eigene Forschungen des Verf. über die Theorie der Flüssigkeiten. Das Büchlein kann daher allen, die sich für die auch in der Elektrizitätslehre immer mehr Bedeutung gewinnende kinetische Theorie interessieren, wärmstens empfohlen werden.“

Elektrochemische Zeitschrift. „Mit Bezug auf die Wichtigkeit, die gegenwärtig die Arbeiten über die Elektrizität in Gasen erlangt haben, dürfte die vorliegende kurze und dabei doch in bezug auf die Hauptmomente erschöpfende Zusammenfassung der Resultate der kinetischen Gastheorie nicht unwillkommen sein. Die Darstellung ist eine klare und deutliche und es ist fast durchweg eine eingehende mathematische Begründung gegeben.“

Petrogenesis

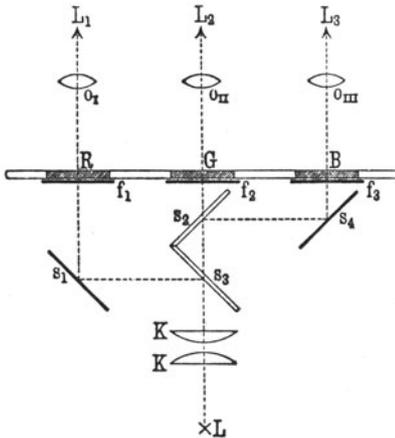
Von *Dr. C. Doelter*, o. Professor der Mineralogie und Petrographie an der Universität Graz. Mit einer Lichtdrucktafel und 5 Abbildungen. XII, 262 S. 1906. Geh. M 7.—, geb. M 7.80.

Inhaltsverzeichnis. Einleitung. — Erstes Kapitel. Das Erdinnere und der Vulkanismus. Vulkanische Herde. Peripherische Vulkanherde. Ursachen des Aufdringens des Magmas. Eruptionsfähigkeit des Magmas. Verhalten des vulkanischen Magmas beim Erstarren. Verhalten der Gase. Temperatur der Lava. Temperatur der Vulkanherde. — Zweites Kapitel. Die Erscheinungsformen der vulkanischen Gesteine. Die vulkanischen Gesteine. Einfluß des Druckes auf die Bildung von Tiefengesteinen. Die Rolle der Mineralisatoren. Das Auftreten der Gesteine. Eruptionsformen der Oberflächengesteine. Viskosität und Lagerungsform. Erscheinungsformen der Tiefengesteine. Mechanismus der Intrusion. Der äußere Habitus der vulkanischen Gesteine. — Drittes Kapitel. Die Struktur der Eruptivgesteine. Struktur der Effusivgesteine. Struktur der Tiefengesteine. Spezielle Strukturen. Beziehungen zwischen dem Alter der Gesteine und ihrer Struktur. Änderungen in der Struktur und dem Mineralbestande in verschiedenen Teilen einer Eruptionsmasse. — Viertes Kapitel. Abhängigkeit der mineralogischen Zusammensetzung der Gesteine von ihrem chemischen Bestande. Dissoziation des Magmas. Vergleich der Gesteinsmagmen. Graphische Darstellung von Gesteinsmagmen. — Fünftes Kapitel. Die Differentiation der Magmen. Das Ganggeolgie. Die Hypothese Bröggers. Differentiation bei künstlichen Schmelzen. Magmatische Differentiation durch das spezifische Gewicht. Verhalten fertiger Kristalle im Magma. Die Kristallisationsdifferentiation. Schlieren. Differentiation bei gleichbleibender chemischer Zusammensetzung. Umschmelzungsversuche von Mineralien und Gesteinen. — Sechstes Kapitel. Die Altersfolge der Eruptivgesteine. Unterschiede der Altersfolge bei Tiefen- und Effusivgesteinen. Veränderungen der vulkanischen Produkte im Laufe geologischer Perioden. Petrographische Charakteristik und Altersbeziehungen der Gesteine eines Vulkans. — Siebentes Kapitel. Die Einschlüsse der Gesteine. Exogene Einschlüsse. Endogene (homogene) Einschlüsse. Die Olivinknollen. — Achstes Kapitel. Assimilation und Korrosion. Ursache der Korrosionen und Resorptionen. Korrosion des Nebengesteins am Kontakt. Assimilation. — Neuntes Kapitel. Künstliche Gesteine. — Zehntes Kapitel. Die Verfestigung des vulkanischen Magmas. Die Ausscheidungsfolge der Mineralien im Magma. Kristallisationsvermögen und Kristallisationsgeschwindigkeit. Unterkühlung. Einfluß der Schmelzpunkte. Das Kristallisationsmikroskop. Einfluß des Druckes auf die Ausscheidung. Bildung vulkanischer Luffe. — Elftes Kapitel. Die Kontaktmetamorphose. Kaustische Wirkungen. Umwandlung von Kalksteinen. Umwandlung von Sandsteinen, Tonschiefern und Tonen. Chemische Vorgänge bei der Phyllitkontaktmetamorphose. Pneumatolytische Metamorphose. Umwandlung des Diabases und der Diabastuffe. Chemisch-physikalische Vorgänge bei der Kontaktmetamorphose. — Zwölftes Kapitel. Die Bildung der kristallinen Schiefer. Allgemeines. Eruptive Gneise. Gneise als umgewandelte Granite. Diagenese. Der Regionalmetamorphismus. Die chemische Zusammensetzung der kristallinen Schiefer. Umwandlung durch Wasser. Umwandlung durch hohe Temperatur. Die Injektionshypothese. Die Dynamometamorphose. Chemische Reaktion im Festen. Die Plastizität der Gesteine. Einfluß des Druckes auf die Löslichkeit von Mineralien. Einseitiger Druck (Streß, Pressung). Zusammenhang der Metamorphose mit der Dislokation. Das Volumgesetz. Der Mineralbestand der kristallinen Schiefer. Struktur und Textur der Schiefergesteine. Ursache der Schieferigkeit. Die Tiefenstufen. Schwierigkeiten einer allgemeinen Anwendung der Dynamometamorphose. Bildung von kristallinen Schiefem durch Kontaktmetamorphose. Vergleich der Kontaktmetamorphose und der Dynamometamorphose. — Dreizehntes Kapitel. Sedimente. Kalksteine. Dolomit. Magnesit. Kieselstein, Kieselchiefer. Sandsteine. Tone, Kaolin. Aolische Sedimente. Alaunschiefer. Laterit. — Vierzehntes Kapitel. Chemische Absätze. Bildung von Steinsalz, Gips und Anhydrit. Absätze der Salzseen. Die Barrentheorie. Gips und Anhydrit. Steinsalz und Abraumsalze. Reihenfolge der Ablagerungen der Salzminerale. Die Temperatur der Steinsalzlager. Einfluß der Zeit und des Druckes. Salpeter. Soda. — Nachträge. — Autorenregister. — Sachregister.

Die Grundlagen der Farbenphotographie

Von **Dr. B. Donath.** Mit 35 Abbildungen und einer farbigen Ausschlagtafel. VIII, 166 S. 1906. Geh. M 5.—, geb. M 5.80.

Inhaltsverzeichnis. I. Teil. Die direkten Verfahren der photographischen Farbenwiedergabe. Farbenwiedergabe. Erstes Kapitel. Die photographische Farbenwiedergabe durch stehende Lichtwellen. Geschichtliches. Theorie des Verfahrens: Begriff des Wellenstrahles. Lichtwellen. Reflexion der Lichtwellen (Phasenverlust). Scheinfarben durch Interferenz. Die Zenkersche Theorie. Experimentelle Beweise für die Richtigkeit der Theorie (Veränderung der Farben mit dem Beobachtungswinkel und durch Auseinandertreten der Elementarspiegel. Komplementäre Farben im durchfallenden Lichte. Nachweis der Elementarschichten in mikroskopischen Dünnschnitten). Weitere theoretische Betrachtungen (Die Beziehungen des Silberkornes zur Schichtenbildung. Die speziellen optischen Eigenschaften von Chromgelatine, kohärentem u. molekularem Silber. Elementarspiegelabstand und Phasenverlust. Abhängigkeit der Farbenwiedergabe von der Expositionszeit. Die Beziehungen der Tiefenwelle zur Oberflächenwelle. Lippmannsche Spektra höherer Ordnung). Praktische Ausübung des Lippmannschen Verfahrens. — Zweites Kapitel. Die photographische Farbenwiedergabe durch Körperfarben. Geschichtliches. Theorie des Verfahrens. Ausübung des Ausbleichverfahrens. — II. Teil. Die indirekten Verfahren der photographischen Farbenwiedergabe. Erstes Kapitel. Geschichte und Theorie des Dreifarbenverfahrens. Geschichtliches. Theorie: Additive u. subtraktive Farbmischung. Geometrische Konstruktion der Mischfarben. Grundfarben. Die Theorien der Farbenwahrnehmung von Young-Helmholtz und Hering. Experimentelle Bestimmung der Grundfarben. — Zweites Kapitel. Die photographische Analyse nach den drei Grundfarben. Sensibilisatoren und



Filter: Die Beziehungen der Aufnahmefilter zu den Reproduktionsfiltern und Sensibilisatoren. Die praktische Durchführung der Analyse: Die Sensibilisierung der Platte. Aufnahme und Entwicklung. Einfluß der Schwärzungskurve auf die Richtigkeit der Farbenwiedergabe. — Drittes Kapitel. Die additive Synthese der Teilbilder (Grenzen der authentischen Reproduktion). — Viertes Kapitel. Additive Wiedergabe mit Hilfe von Beugungsspektren (Theorie und Ausübung des Verfahrens). — Fünftes Kapitel. Additive Farbenwiedergabe mit dem Dreifarbenraster. — Sechstes Kapitel. Die subtraktive Synthese der Teilbilder. Theorie: Wahl des Farbensystems. Beziehungen zwischen dem Grundfarbensystem, den Aufnahmefiltern und Sensibilisatoren. Ausführung der subtraktiven Synthese: Die Herstellung transparenter Dreifarbenbilder. Subtraktive Bilder auf reflektierender Grundlage. Der Dreifarbendruck (Flachdruck und Hochdruck). — Literaturverzeichnis. — Namenverzeichnis.

Höhlenkunde

mit Berücksichtigung der Karstphänomene

Von *Dr. phil. Walter von Knebel*. Mit 42 Ab-
bildungen im Text und auf 4 Tafeln. XVI, 222 S.
1906. Geh. M 5.50, geb. M 6.30.

Inhaltsverzeichnis. 1. Kapitel. Einführung. 2. Kapitel. Die Ursachen der Höhlenbildung. 3. Kapitel. Die Verteilung der Höhlen in den Gesteinsarten der Erdrinde. 4. Kapitel. Verkarstung und Karstphänomene. 5. Kapitel. Grundwasser und Quellen in Höhlengebieten. 6. Kapitel. Die Korrosion in Karstgebirgen. 7. Kapitel. Die mechanische Tätigkeit des Wassers in bezug auf die Höhlenbildung. 8. Kapitel. Morphologie der Höhlen; natürliches System der Höhlenformen. 9. Kapitel. Höhlenflüsse. 10. Kapitel. Die Vauclose und die Vauclosequellen. 11. Kapitel. Die Grundwassertheorie zur Erklärung der hydrographischen Probleme des Karstes. 12. Kapitel. Submarine Quellen und Meeresschwinden als Beweise für das Vorhandensein von Höhlenflüssen. 13. Kapitel. Die Entstehung von Höhlenflüssen. 14. Kapitel. Dolinen. 15. Kapitel. Bedeutung der Dolinen für die Entstehung von Tälern. 16. Kapitel. Kesseltäler. 17. Kapitel. Die wichtigsten Höhlengebiete. 18. Kapitel. Halbhöhlen. 19. Kapitel. Ursprüngliche Höhlen. 20. Kapitel. Meteorologische Verhältnisse in Höhlen. 21. Kapitel. Die biologischen Verhältnisse in Höhlen. 22. Kapitel. Höhlen als Wohnorte der prähistorischen Menschen. 23. Kapitel. Kulturarbeit in Höhlengebieten. Geschichte der Höhlenkunde.

Aus den Besprechungen.

Geologisches Zentralblatt. „Verf. hat in diesem Buche die Ergebnisse jahrelanger Studien in verschiedenen Höhlengebieten Deutschlands und im Karst unter Berücksichtigung der umfangreichen Literatur niedergelegt und so ein wissenschaftliches Buch über den Gegenstand verfaßt, über den bisher nur Einzelbeschreibungen vorhanden waren. Gleichzeitig gibt er bestimmte Hinweise und Anleitungen zu gewissenhaften Beobachtungen auf diesem interessanten Gebiet geologisch-geographischer Forschung. Die einschlägige Literatur wird erwähnt und kritisch behandelt...“

Zeitschrift für die österreichischen Gymnasien. „... Der Verfasser hat es verstanden, die einschlägigen Erscheinungen nicht nur in sehr lichtvoller Weise zu beschreiben, sondern auch deren Entstehung in sachgemäßer Weise zu begründen. Die verschiedenen Anschauungen werden gegeneinander abgewogen und in vollkommen objektiver Weise beurteilt. Besonderes Interesse ist im vorliegenden Buche dem Karstphänomene entgegengebracht worden und dies in Anbetracht der Wichtigkeit der Kenntnis dieser Erscheinung für die Bodenkultur mit vollem Rechte. Es findet auch die kulturelle Verwertung verkarsteter Länder die entsprechende Erörterung.“

Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft für Thüringen. „... Der Verfasser gibt eine erwünschte Gesamtdarstellung der Höhlenkunde und aller damit zusammenhängenden Fragen. Jeder, der sich schnell orientieren will über ein besonderes Kapitel dieser Wissenschaft, wird gern vorliegendes Buch zur Hand nehmen. Die zahlreichen Abbildungen, die dem Werke beigegeben sind, sind recht instruktiv und klar und schließen sich der sonstigen Ausstattung des Buches würdig an.“

Die Eiszeit

von **Dr. F. E. Geinitz**, o. Professor an der Universität
Rostock. Mit 25 Abbildungen, 3 farbigen Tafeln
und 1 Tabelle. XIV, 198 S. Geh. M 7.—, geb. M 7.80.

Inhaltsverzeichnis. Einführung. Fauna und Flora des Quartärs. Gletscherentwicklung im Quartär. Verbreitung des quartären Glazialphänomens. Frühere Eiszeiten. Landverteilung vor der Eiszeit. Ursache der Eiszeit. Zeitberechnungen. Die Glazialablagerungen. Einfluß der Vereisung auf den Untergrund. — I. Das nord-europäische Glazial. 1. Gebiet Skandinavien-Rußland-Norddeutschland-Holland. a) Art des Vorkommens und Verbreitung: Skandinavien, Finnland, Rußland, Bornholm, Dänemark, Norddeutschland, Holland. b) Gliederung des nordeuropäischen Quartärs: Präglazial (Altquartär); Fluvioglazial oder Extraglazial. Interglazial. c) Die Verhältnisse nach dem Abschmelzen der Eiskecke (Postglazial, Spätglazial). d) Die postglazialen Niveauschwankungen. 2. Das Glazial Großbritanniens. — II. Das Glazialphänomen der Alpen. — III. Das Gebiet zwischen alpiner und nordischer Vergletscherung. 1. Die extraglazialen Ablagerungen, ihre Gliederung und Beziehung zum prähistorischen Menschen. 2. Die vergletscherten deutschen Mittelgebirge und ihr Vorland. — IV. Eiszeitgletscher im übrigen Europa. — V. Die Eiszeit Nordamerikas. — VI. Die Polarländer. — VII. Die Eiszeit auf den übrigen Kontinenten. Asien. Afrika. Südamerika. Australien. Antarktik. Grahamland.

Aus den Besprechungen.

Zeitschrift für Schulgeographie. „Der bekannte Mecklenburger Forscher auf dem Gebiete der Glazialgeologie hat hier ein Kompendium seines Forschungsgebietes gegeben, wie es knapper und zutreffender kaum gegeben werden konnte. Der Text ist eng zusammengedrängt, nicht gerade leicht zu lesen, erteilt aber dafür über alles, was mit der Eiszeit irgendwie in Beziehung steht, genaue und zuverlässige Auskunft. Man mag sich über die Moorfrage mit Bezug auf Klimaschwankungen oder über die Niveauschwankungen des Baltikums orientieren wollen, alle diese Erscheinungen charakterisiert Geinitz in kurzen treffenden Worten. Das fehlende Register wird durch das eingehende Inhaltsverzeichnis genügend ersetzt, so daß sich das Werk auch zum Nachschlagen sehr eignet...“

Blätter für das bayerische Gymnasialschulwesen. „Der Verfasser gibt an der Hand der neueren Forschungen einen recht anschaulichen Überblick über unser gegenwärtiges Wissen von diesem vielumstrittenen Zeitraum der Erdgeschichte. Daher dürfte dieses Buch, das zum Teil ein Auszug aus seiner größeren Arbeit über das Quartär Nordeuropas ist, besonders dem Geographen willkommen sein; denn dieser Stoff ist in solcher Abrundung mit stetem Hinweis auf die einschlägigen Fragen und literarischen Hilfsmittel meines Wissens sonst nirgends zu finden.“

Die Anwendung der Interferenzen in der Spektroskopie und Metrologie

Von **Dr. E. Gehrcke**, Privatdozent an der Universität
Berlin, technischer Hilfsarbeiter an der physik.-techn. Reichs-
anstalt. Mit 73 Abbildungen. IX, 160 S. 1906.
Geh. M 5.50, geb. M 6.20.

Inhaltsverzeichnis. I. Teil: Allgemeine Einleitung. 1. Wellenbewegung. 2. Lichtwellen. 3. Funktion der Linsen. 4. Das Auge als optischer Apparat. 5. Fernrohr und Mikroskop. 6. Helligkeit der durch Linsen erzeugten Bilder. 7. Wellenlänge, Fortpflanzungsgeschwindigkeit, Schwingungsdauer. 8. Sinuswellen. 9. Prinzip der Superposition. — II. Teil: Erzeugung und Theorie einiger ausgewählter Interferenzerscheinungen. 10. Fresnels Spiegelversuch. 11. Interferenzen an planparallelen Platten. 12. Interferenzen an keilförmigen Platten. 13. Fresnels Biprisma, Newtons Farbglas, Michelsons Interferometer. 14. Überlagerung der Interferenzen verschiedener Wellenlängen. 15. Die Quecksilberlampe. 16. Intensitätsverteilung der Interferenzen an planparallelen Platten. 17. Berücksichtigung der vielfach reflektierten Strahlen. 18. Weitere Diskussion der berechneten Intensitätsverteilung. 19. Intensitätsverteilung der Interferenzen im reflektierten Lichte. 20. Planparallele Luftplatte zwischen zwei rechtwinkligen Glasprismen. 21. Vorhandensein zweier komplementärer Interferenzsysteme im reflektierten Licht. 22. Beugung des Lichtes an einer Öffnung. 23. Beugung an mehreren (spaltförmigen) Öffnungen. — III. Teil: Spektralapparate. 24. Fizeaus Modifikation des Newtonschen Farbglases. 25. Ausbildung der Fizeauschen Methode durch Michelson. 26. Fraunhofers Beugungsgitter. 27. Reflexionsgitter. 28. Interferometer von Perot und Fabry. Lummers Doppelkeil. 29. Michelsons stufenförmige Gitter. 30. Interferenzspektroskop von Lummer und Gehrcke. 31. Allgemeine Theorie aller auf der Erzeugung von Interferenzstreifen beruhender Spektralapparate. 32. Abhängigkeit der Intensitätsverteilung der Interferenzen von der Breite des Kollimatorspaltes. 33. Auflösungsvermögen u. Dispersionsgebiet. 34. Interferenzpunkte. 35. „Falsche“ Spektrallinien und ihre Erkennung mit Hilfe der Interferenzpunkte. 36. Auflösungsvermögen des Prismas. 37. Einfluß der Beugung an der Öffnung einer Linse auf die von ihr entworfenen Bilder. Grenze der Auflösung im Fernrohr und Mikroskop. 38. Einfluß der Beugung auf die Sichtbarkeit der Interferenzen an keilförmigen und planparallelen Platten. — IV. Teil: Auswahl von Resultaten der spektroskopischen Forschung über den Mechanismus des Leuchtens. 39. Trabanten. 40. Dopplersches Prinzip. „Breite“ der Spektrallinien. 41. Abhängigkeit der Breite der Spektrallinien von der Temperatur, dem Molekulargewicht und der Erregungsart. 42. Der Stark-Effekt. 43. Einfluß des Druckes auf die Wellenlänge. 44. Der Zeeman-Effekt. 45. Theorie des Zeeman-Effektes. 46. Anomaler Zeeman-Effekt. Dissymmetrie in schwachen Feldern. 47. Interferenzfähigkeit des Lichtes einzelner Spektrallinien. 48. Serien. — V. Teil: Anwendungen der Interferenzen zu physikalischen Messungen und in der Metrologie. 49. Bestimmung von Variationen der optischen Dicke sogen. planparalleler Platten. 50. Anwendungen der Interferenzen zu verschiedenen physikalischen Messungen. 51. Anwendungen der Interferenzen in der Astronomie. 52. Interferentialrefraktor von Jamin. 53. Modifikationen von Michelsons Interferometer. 54. Lichtwellen als Längeneinheiten. 55. Michelsons Auswertung des Meters in Lichtwellen. 56. Methode von Benoit zur Bestimmung der Ordnungszahl von Interferenzen. 57. Methode von Perot und Fabry zur Bestimmung der Ordnungszahl von Interferenzen. 58. Einheit der Masse. 59. Methode von Macé de Lépinay zur Messung der Dicke und des Brechungsindexplanparalleler Platten. 60. Wellenlängennormalen. 61. Interferenzen planparalleler Platten im kontinuierlichen Spektrum. Literaturverzeichnis. Register.

Kinematik organischer Gelenke

Von Prof. Dr. Otto Fischer in Leipzig. Mit
77 Abbildungen. XII, 261 S. 1907. Geh. M 8.—,
geb. M 9.—.

Inhaltsverzeichnis. Einleitung. 1. Teil: Über die Formen der Gelenkflächen und die aus denselben sich ergebenden möglichen Arten der Gelenkbewegungen. A. Gelenke mit ausgedehntem Flächenkontakt. 1. Gelenke mit starren Flächen. 2. Gelenke mit deformierbaren Flächen. B. Gelenke mit geringem Flächenkontakt. 3. Allgemeine Betrachtungen über die Arten der Gelenkbewegungen. 4. Zylindergelenke. 5. Gelenke mit beliebiger Form der Gelenkflächen. 6. Die Winkelgeschwindigkeiten der verschiedenen Komponenten der allgemeinsten Gelenkbewegung. 7. Einfluß der Deformierbarkeit des Gelenkknorpels auf die Bewegung in Gelenken mit geringem Flächenkontakt. 8. Ausfüllung der Gelenkspalten. — 2. Teil: Über die Bewegungsfreiheit. 9. Die Bewegungsfreiheit in einzelnen Gelenken. 10. Die Bewegungsfreiheit in Gelenksystemen. — 3. Teil: Bewegung in speziellen Gelenken. 11. Allgemeines über die Methoden der Untersuchung spezieller Gelenke. 12. Empirische Ableitung spezieller Bewegungen eines ganzen Gelenksystems. 13. Spezielle Beispiele bestimmter zu einem Gelenk gehörender Relativbewegungen. 14. Bewegungsgesetze in speziellen Gelenken von zwei Graden der Freiheit. Lehrbücher, in denen organische Gelenke behandelt werden. Monographien über Gelenke und Gelenkbewegung. Sachregister.

Aus den Besprechungen.

Deutsche Literaturzeitung. „Das ganze Buch ist mit beneidenswerter Präzision und Prägnanz geschrieben, der Aufwand an Geometrie und Algebra ist so bescheiden, daß man erwarten sollte, Mediziner und Zoologen werden sich durcharbeiten können. Jedenfalls wird es für sie die beste Einführung in die Gelenkmechanik sein. Für alle aber, die das Studium der Gelenke als Spezialität betreiben, wird die Fischersche Kinematik ganz unentbehrlich sein.“

Leipziger Medizinische Monatsschrift. „... Wenn Fischer, der durch seine Forschungen auf diesem Gebiete längst bekannt ist, auch in bescheidener Weise sagt, daß sein Werk kein Lehrbuch der in den lebenden Körpern vorkommenden speziellen Gelenke sein soll, so müssen wir es doch als ein solches ansehen, denn er hat es verstanden, uns in klarer und übersichtlicher Weise die Verhältnisse, auf die es ankommt, darzulegen. Wir haben die meisten Werke, die sich mit dem Gegenstande der Gelenklehre oder der Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüsts beschäftigen, in der Hand gehabt, müssen aber sagen, daß uns keines eine derartige präzise Auskunft und klare Vorstellung der Verhältnisse gegeben hat wie die Kinematik Fischers...“

Reichs-Medizinal-Anzeiger. „Der Aufgabe der organischen Kinematik, die kinematischen Gesetze besonders den Zoologen, den Medizinern und den gebildeten Laien klar zu machen, hat Verf. sich in dem vorliegenden Buche unterzogen und diese Aufgabe vorzüglich gelöst...“

Franz Neumann und sein Wirken als Forscher und Lehrer

Von *Dr. A. Wangerin*, Professor an der Universität
Halle a. S. Mit einer Textfigur und einem Bildnis
Neumanns in Heliogravüre. X, 185 S. 1907. Geh.
M 5.50, geb. M 6.20.

Inhaltsverzeichnis. Erster Teil: Franz Neumanns Leben. — Zweiter Teil: Neumanns wissenschaftliche Arbeiten. 1. Die kristallographisch-mineralogischen Arbeiten. 2. Arbeiten zur Wärmelehre. 3. Arbeiten aus der Optik und Elastizitätstheorie. 4. Arbeiten über induzierte Ströme. 5. Mathematische Arbeiten. 6. Wissenschaftliche Untersuchungen Neumanns, die nicht von ihm selbst veröffentlicht sind. — Dritter Teil: Vorlesungen, Seminar, Laboratorium. 1. Die gedruckten Vorlesungen. 2. Das Seminar. 3. Neumanns Bestrebungen zur Errichtung eines physikalischen Laboratoriums.

Aus den Besprechungen.

Die *Physikalische Zeitschrift* schreibt: „Die Materie des letzterschienenen Hefes der Sammlung »Die Wissenschaft« bildet die Biographie eines großen Gelehrten, des Königsberger Physikers und Mathematikers Franz Neumann. Nicht mit Flittern äußeren Glanzes umgibt A. Wangerin die markante Persönlichkeit dieses Mannes, für dessen edle Bescheidenheit und herzgewinnende Güte er aber nicht genug Worte finden kann. In schlichten einfachen Worten schildert der Verfasser die harten Entwicklungsjahre mit ihren zahlreichen Entbehrungen, die der Lehrer und Forscher Neumann durchzumachen hatte, um sich dann eingehend mit Neumanns wissenschaftlichen Arbeiten zu befassen. Neumanns erste Arbeiten liegen auf kristallographisch-mineralogischem Gebiet. Später sind es Beiträge zur Wärmelehre, Optik und Elastizitätstheorie. Aus der Elektrizitätslehre bearbeitete er die induzierten Ströme. Seine bedeutendste mathematische Arbeit ist diejenige über Kugelfunktionen. Das Buch enthält ferner Mitteilungen über Arbeiten aus Neumanns Seminar und Laboratorium.

Nicht ohne ein gewisses Mitleid wird man das letzte Kapitel lesen, welches von Neumanns Bestrebungen zur Errichtung eines physikalischen Laboratoriums berichtet...“

Deutsche Literaturzeitung. „... Einer der ältesten überlebenden Schüler Fr. Neumanns, Prof. A. Wangerin in Halle, hat sich der Aufgabe unterzogen, Fr. Neumann als Forscher und Lehrer zu schildern, und nicht nur die anderen Schüler des großen und trefflichen Mannes, zu denen auch der Ref. sich zählt, alle Physiker sind dem Verfasser dafür zu Dank verpflichtet, daß er mit solcher Hingabe und mit solcher Beherrschung des Stoffes seine Aufgabe gelöst hat. Auch bezüglich der Beurteilung der verschiedenen Neumannschen Leistungen kann sich der Ref. in allen wesentlichen Punkten dem Verf. völlig anschließen...“

Die Zustandsgleichung der Gase und Flüssigkeiten und die Kontinuitätstheorie

Von Prof. Dr. J. P. Kuenen in Leiden. Mit 9 Abbildungen. X, 241 S. 1907. Geh. M 6.50, geb. M 7.10.

Inhaltsverzeichnis. 1. Kapitel. Kondensationserscheinungen und Kontinuitätsprinzip. 2. Kapitel. Kinetische Theorie idealer Gase. 3. Kapitel. Kinetische Theorie unvollkommener Gase: Zustandsgleichung. 4. Kapitel. Erklärung der Verflüssigungserscheinungen nach der Zustandsgleichung; Erweiterung der Kontinuitätstheorie. 5. Kapitel. Anormale Kondensations- und kritische Erscheinungen: A. Nichtkonstanz des Dampfdruckes. B. Kritische Erscheinungen. 6. bis 9. Kapitel. Vergleich der Zustandsgleichung mit der Erfahrung: A. Kritische Gleichungen. B. Homogene Zustände. C. Sättigungsgebiet. D. Thermische Größen. 10. Kapitel. Molekulare Dimensionen. 11. Kapitel. Gesetz der korrespondierenden Zustände. Gleichförmigkeitsprinzip. 12. und 13. Kapitel. Verbesserung der Zustandsgleichung; Anzuwendende Merkmale: A. Theorie der Volumkorrektur. B. Theorie der molekularen Attraktion: Verbesserung der beiden Korrektionsglieder. 14. Kapitel. Mathematische Methoden der Herleitung der Zustandsgleichung.

Aus den Besprechungen.

Physikal.-chemisches Zentralblatt. „Der Verf. hat eine schwierige Aufgabe übernommen, in Form einer Monographie das im Titel bezeichnete Thema zu bearbeiten. Sicher vielen wird das vorliegende Buch willkommen sein.

Die wohlgeordnete Zusammenfassung des Bekannten und die objektive und kritische Behandlungsweise machen es einerseits dem Fachmanne wertvoll, der eine Fülle von Anregungen zur weiteren theoretisch-mathematischen oder experimentellen Ausgestaltung des Problems finden wird. Besonders das bis jetzt zutage geförderte experimentelle Material ist absolut unzulänglich, hier harret noch ein großes, fruchtbares, aber auch äußerst schwieriges Gebiet der eingehenden experimentellen Bearbeitung.

Andererseits sind einzelne Kapitel allgemeineren Inhalts so einfach und anregend geschrieben, daß diese vereint auch dem Anfänger mit mäßigen Kenntnissen in der höheren Mathematik ein abgerundetes Bild über das Wesen und die Erfolge der Zustandsgleichung und der sich ihr anschließenden Fragen geben können.

Lobend sei noch der sorgfältigen Literaturangaben gedacht und deren zweckmäßigen systematischen Zusammenstellung am Schlusse jedes größeren Kapitels.“

Jahrbuch der Chemie. „... Die Darstellung der vorliegenden Monographie ist mustergültig und setzt, was vielen Chemikern besonders erwünscht sein dürfte, kein allzu großes Maß mathematischer und theoretisch-physikalischer Kenntnisse voraus.“

Radioaktive Umwandlungen

Von *E. Rutherford*, Professor der Physik an der
Mc Gill-Universität in Montreal. Übersetzt von *M. Levin*.
Mit 53 Abbildungen. VIII, 285 S. 1907. Geh. M 8.—
geb. M 8.60.

Inhaltsverzeichnis. The Silliman Foundation. — Preface. — Vorbemerkung zur deutschen Ausgabe. — Kapitel 1. Historische Einleitung. — Kapitel 2. Die radioaktiven Umwandlungen d. Thoriums. — Kapitel 3. Die Radiumemanation. — Kapitel 4. Die Umwandlungen des aktiven Niederschlages des Radiums. — Kapitel 5. Der langsam sich umwandelnde aktive Niederschlag des Radiums. — Kapitel 6. Ursprung und Lebensdauer des Radiums. — Kapitel 7. Die Umwandlungsprodukte des Uraniums und Aktiniums und der Zusammenhang zwischen den Radioelementen. — Kapitel 8. Die Entstehung von Helium aus Radium und die Umwandlung der Materie. — Kapitel 9. Die Radioaktivität der Erde und der Atmosphäre. — Kapitel 10. Die Eigenschaften der α -Strahlen. — Kapitel 11. Radioaktive Prozesse im Lichte physikalischer Anschauungen.

Aus den Besprechungen.

Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht. „... Im März 1905 hat Rutherford an der Yale University eine Reihe von Vorlesungen gehalten, die hauptsächlich des Verf. eigenstes Arbeitsgebiet, die radioaktiven Umwandlungen, zum Gegenstand hatten. In der vorliegenden Veröffentlichung sind indessen alle bis zum Beginn von 1907 erschienenen Arbeiten berücksichtigt. Dem Buch haftet noch in der Übersetzung etwas von der lebhaften Frische des Vortrages an. Meisterhaft in ihrer klaren Knappheit ist die historische Einleitung, die uns zeigt, wie in ca. 10 Jahren durch das Handinhandarbeiten von Physikern und Chemikern aller Länder unsere Kenntnisse von Materie und Strahlung erweitert und vertieft worden sind. Den kühnsten Schritt tat eben Rutherford in der Aufstellung der Umwandlungshypothese, die alle bisherigen Anschauungen von Elementen und Atomen umstieß, aber eine Fülle von Erscheinungen zusammenfaßte, die vorher nur verwirrt. Die Hypothese reicht noch jetzt aus, um alle seit ihrer Aufstellung gefundenen Tatsachen zu erklären, und dennoch — zum Lobe des Autors sei es besonders hervorgehoben — weiß Rutherford scharf zwischen Beobachtung und Spekulation, zwischen der Tatsache und ihrer vermutlichen Erklärung zu unterscheiden. — Jedes Wort der Empfehlung ist bei diesem Buche überflüssig.“

Literarisches Zentralblatt. „... Die Vorträge sind in anregender und so anschaulicher Form niedergeschrieben, daß Physiker und Nichtfachmann, sofern er über einige naturwissenschaftliche Bildung verfügt, Genuß und Gewinn durch die Lektüre haben wird. Für den Fachmann ist das Heft eine Quelle anregender Gedanken und Anschauungen, während der Laie eine gute Einführung in unsere gegenwärtige Kenntnis der Radioaktivität vorfindet, neben welcher die Atomzerfallstheorie, die Elektronentheorie zur Erörterung gelangt und die Bedeutung für unser Wissen von der Lufterlektrizität sowie für den Ausbau und die Bestätigung wichtiger physikalischer Grundanschauungen gehörend geltend gemacht wird.“

Kant und die Naturwissenschaft

Von Prof. Dr. Edm. König in Sondershausen.

VI, 232 S. 1907. Geh. M 6.—, geb. M 7.—.

Inhaltsverzeichnis. 1. Kapitel. Naturwissenschaft und Naturphilosophie. — 2. Kapitel. Kant und die Naturwissenschaft seiner Zeit. 1. Einfluß der Naturwissenschaft auf Kants Philosophie. 2. Kant als Naturforscher. — 3. Kapitel. Die Leitsätze der kritischen Erkenntnislehre. 1. Die kritische Fassung des Erkenntnisproblems. 2. Anschauung und Denken — Aposteriori und Apriori. 3. Der Raum. 4. Die Denkformen (Kategorien). 5. Grenzen der Erkenntnis — Endergebnisse. — 4. Kapitel. Kants Einwirkung auf die Naturwissenschaft des 19. Jahrhunderts. — 5. Kapitel. Das Problem des Raumes und der Bewegung. 1. Der Anschauungsraum. 2. Der Raum der Geometrie. 3. Der physische Raum. — 6. Kapitel. Erscheinung und Wesen — Erfahrung und Theorie (Kritik des Phänomenalismus). — 7. Kapitel. Das physikalische Problem. 1. Die Grundlagen der mechanischen Naturanschauung. 2. Die Prinzipien der Mechanik. 3. Die Konstitution der Materie. 4. Kinetik und Energetik. — 8. Kapitel. Das biologische und das psychophysische Problem. 1. Gegensatz der mechanistischen und der teleologischen Biologie. 2. Der Zweckbegriff bei Kant. 3. Ist der Zweckbegriff Kategorie? 4. Die Hauptformen der naturwissenschaftlichen Teleologie. 5. Die psychophysische Kausalität. 6. Schluß. Zusätze.

Aus den Besprechungen.

Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. „Der Verfasser sucht zu zeigen, daß insbesondere die erkenntnistheoretischen Anschauungen Kants, denen sich die Erkenntnistheorie der neueren Naturwissenschaft in verschiedenen wesentlichen Punkten in bemerkenswerter Weise ganz von selbst genähert hat, mit den Ergebnissen der naturwissenschaftlichen Forschung durchaus vereinbar und geeignet sind, als Grundlage für eine einheitliche Lösung der naturphilosophischen Probleme zu dienen. Das Buch wird allen denen willkommen sein, die sich allgemein über die Hauptströmungen in der heutigen Naturphilosophie unterrichten möchten. Die Ingenieure werden die Kapitel über Raum und Bewegung, über die Grundlagen der mechanischen Naturanschauung, über die Prinzipien der Mechanik und über Kinetik und Energetik besonders interessieren.“

Chemiker-Zeitung (am Schluß einer langen Besprechung). „... Im Rahmen einer Besprechung, selbst einer (mit Rücksicht auf die Schwierigkeit des Gegenstandes) schon ungewöhnlich langen, kann natürlich weder auf Einzelheiten eingegangen, noch mit dem Verfasser über deren Auffassung und seinen Gesamtstandpunkt gerechnet werden; doch dürften schon obige Andeutungen genügen, um die Leser dieser Zeitschrift auf die Fülle wichtiger Lehren und Gedanken hinzuweisen, die das Königsche Buch enthält, und die namentlich den Naturforscher anregen sollten, auch seinerseits weiter zu denken und, unbeirrt durch jegliche Autorität, nach fernerer Aufklärung zu streben. »Aufgeklärt sein«, so sagt Kant, »heißt: den Mut haben, sich seines eigenen Verstandes zu bedienen.«

Synthetisch-organische Chemie der Neuzeit

Von Dr. Julius Schmidt, a. o. Professor an der
Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart. X, 185 S.
1908. Geh. M 5.50, geb. M 6.20.

Inhaltsverzeichnis. Einleitung. Erläuterung des Begriffes Synthese. Historische Bemerkungen. Über die Behandlungsweise des Stoffes. Kohlensuboxyd. Knallsäure. — 1. Kapitel. Bedeutung der Organomagnesiumhaloide für synthetische Zwecke. — 2. Kapitel. Einige synthetische Ergebnisse aus der Zuckergruppe. Asymmetrische Synthese. — 3. Kapitel. Synthetische Reaktionen, welche zu Aldehyden und Ketonen führen. — 4. Kapitel. Dimethylsulfat als Methylierungsmittel. — 5. Kapitel. Syntheseu mit Hilfe von Aziden. — 6. Kapitel. Methoden von E. Fischer zur Synthese von Polypeptiden. — 7. Kapitel. Synthesen durch Aufspaltung und Umwandlungen zyklischer Basen. — 8. Kapitel. Synthesen auf dem Gebiete der Alkaloidchemie, der künstlichen Arzneimittel und in der Puringruppe. — 9. Kapitel. Synthesen von Farbstoffen und mehrkernigen aromatischen Verbindungen. — 10. Kapitel. Synthesen von Riechstoffen, von hydroaromatischen und diesen nahestehenden Verbindungen. — 11. Kapitel. Synthesen verschiedener organischer Verbindungen auf elektrochemischem Wege. — Namenregister. — Sachregister.

Aus den Besprechungen.

Literarisches Zentralblatt. „Das 23. Heft der »Wissenschaft« bildet eine höchst willkommene Ergänzung unserer Lehrbücher der organischen Chemie in mehrfacher Hinsicht. Enthält es doch neben den kurz angedeuteten üblichen Synthesen in ausführlicher Besprechung neuere Verfahren, welche in den Lehrbüchern nicht oder höchstens ganz oberflächlich gestreift werden, so namentlich die vielseitige Anwendung der Organomagnesiumhaloide, stets unter eingehender Würdigung des wirtschaftlichen Wertes der betreffenden Methode. Da die Darstellungsverfahren der Duftstoffe, Farbstoffe und Heilmittel ebenfalls in den Rahmen der Besprechung fallen und das Buch bei aller wissenschaftlichen Strenge doch leicht faßlich geschrieben ist, so kann es unbedenklich nicht nur dem Fachmann, sondern auch weiteren Kreisen (Pharmazeuten, Physiologen, Ärzten usw.) nachdrücklich empfohlen werden.“

Zentralblatt für Pharmazie und Chemie. „Die synthetisch-organische Chemie hat in der Neuzeit, d. h. in den letzten 10 bis 15 Jahren Errungenschaften aufzuweisen von so allgemeinem Interesse, wie sie sich nie hatten voraussehen lassen. Die vorliegende Schrift soll ein Bild derselben entwerfen. In ihr sind die außerordentlich zahlreichen Ergebnisse je nach ihrer größeren oder geringeren Bedeutung mehr oder weniger ausführlich behandelt worden. Dabei hat der Verfasser mit Rücksicht auf den größeren Leserkreis, für den das Buch bestimmt ist, für eine leicht faßliche, aber doch streng wissenschaftliche Form des meist aus den Quellen geschöpften Materials Sorge getragen und auch die Wichtigkeit einschlägiger Entdeckungen in wirtschaftlicher Hinsicht entsprechend gewürdigt.“

Gerade das vorliegende Thema mit seinen mannigfachen Beziehungen zum praktischen Leben dürfte verhältnismäßig leichter als manch anderes abstrakteres Gebiet der Naturwissenschaften das Interesse eines weiteren Kreises fesseln...“

Die
chemische Affinität und ihre Messung

Von **Dr. Otto Sackur**, Privatdozent an der Universität
Breslau. Mit 5 Abbildungen. VIII, 130 S. 1908. Geh.
M 4.—, geb. M 4.80.

Inhaltsverzeichnis. 1. Kapitel. Die historische Entwicklung des Affinitätsbegriffes. Ältere Anschauungen über die chemische Verwandtschaftskraft. Die Abhängigkeit der Affinität von der Menge der sich umsetzenden Stoffe. Die Avidität der Säuren und Basen. Quantitative Messung der Affinität in mechanischem Maße. Definition der Affinität als maximale Arbeit nach van 't Hoff. — 2. Kapitel. Der Begriff der maximalen Arbeit und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. Das Thomson-Berthelotsche Prinzip. Der erste Hauptsatz. Der zweite Hauptsatz. Die maximale Leistung einer Arbeitsmaschine. Der Carnotsche Kreisprozeß. Die Arbeitsleistung chemischer Vorgänge. Die Helmholtzsche Gleichung. — 3. Kapitel. Die Berechnung der Affinität aus dem Betrage der Umsetzung. I. Reaktionen im homogenen System. a) Zwischen Gasen: Thermodynamische Ableitung des Massenwirkungsgesetzes; Experimentelle Bestimmung von Gasgleichgewichten (Statische Methoden, Dynamische Methoden). b) Reaktionen in Lösungen: Die Avidität von Säuren und Basen. II. Reaktionen im heterogenen System. a) Zwischen festen Stoffen und Gasen: Experimentelle Methoden zur Bestimmung d. Dissoziationsspannung; Berechnung der Affinität der Metalle zum Sauerstoff und den Halogenen. b) Reaktionen zwischen festen Stoffen und Lösungen. c) Affinität zwischen festen Stoffen. — 4. Kapitel. Elektrische Methode der Affinitätsmessung. Die maximale Arbeit eines galvanischen Elementes. Ketten vom Typus des Daniellelementes. Konzentrationsketten. Affinität der Komplexbildung. Das absolute Potential. Gasketten. Oxydations- und Reduktionsketten. — 5. Kapitel. Affinität und Temperatur. Die Gleichung der Reaktionsisochore. Berechnung der Affinität aus der Wärmetönung. Die Affinität in der Nähe des Umwandlungspunktes. Änderung der Wärmetönung mit der Temperatur. Die Nernstsche Theorie zur Berechnung von Gleichgewichten aus thermischen Größen. 6. Kapitel. Ergebnisse der Affinitätsmessung. Reaktionen zwischen Verbindungen. Reaktionen zwischen den Elementen. — Schlußbetrachtung.

Aus den Besprechungen.

Chemiker-Zeitung. „Die Aufgabe, die sich der Verfasser in der vorliegenden Monographie gestellt hat, den großen Fortschritt, den die Chemie der thermodynamischen Betrachtungsweise verdankt, anschaulich darzustellen, hat er in sachgemäßer Weise und Form gelöst. Das Buch übermittelt trotz seiner kurzen Fassung die wesentlichsten Errungenschaften der chemisch verwerteten Thermodynamik prägnant und zuverlässig, so daß es dem engeren und weiteren Kreise der Fachgenossen Belehrung und Anregung gibt. ... Das Buch ist jedem zu empfehlen, der eine nicht an der Oberfläche haftende Kenntnis des Gegenstandes in großen Zügen sich aneignen will, zumal dem Studierenden als Ergänzung und Unterstützung bei thermodynamischen Vorlesungen.“

Die Korpuskulartheorie der Materie

Von **Dr. J. J. Thomson**, *Mitgl. der Royal Society, Professor der Experimentalphysik an der Universität in Cambridge und Professor der Physik an der Royal Institution in London.* Autoris. Übersetzung von **G. Siebert**. Mit 29 Abbildungen. VIII, 166 S. 1908. Geh. M 5.— geb. M 5.80.

Inhaltsverzeichnis. 1. Kapitel. Einleitung. Korpuskeln in Vakuumröhren. 2. Kapitel. Der Ursprung der Masse der Korpuskel. 3. Kapitel. Eigenschaften einer Korpuskel. 4. Kapitel. Korpuskulartheorie der Leitung in Metallen. 5. Kapitel. Die zweite Theorie der elektrischen Leitung. 6. Kapitel. Die Anordnung der Korpuskeln im Atom. 7. Kapitel. Über die Anzahl der Korpuskeln im Atom. — Register.

Aus den Besprechungen.

Naturwissenschaftliche Wochenschrift. „In dem vorliegenden Werke legt der Verfasser, der den Physikern als einer der geistreichsten Forscher auf dem Gebiete der Elektronik wohl bekannt ist, seine Anschauungen über den Aufbau der Materie in ziemlich populärer Form dar. Das Buch ist also als eine Fortsetzung und Erweiterung der im Jahre 1904 ebenfalls deutsch in der Sammlung »Die Wissenschaft (Heft 3)« erschienenen Vorträge »Elektrizität und Materie« anzusehen.

In der neuen Schrift werden zunächst die grundlegenden Tatsachen der Elektronentheorie besprochen. Daran schließt sich ein Kapitel, in dem die Frage nach dem Ursprung der Masse der Elektronen mit dem Ergebnis diskutiert wird, daß die Masse der Elektronen nur scheinbar materiell, in Wahrheit aber elektromagnetischer Natur sei. Eingehend wird die Korpuskulartheorie der Wärme- und der Elektrizitätsleitung in Metallen behandelt und gezeigt, daß von den beiden konkurrierenden Theorien die eine, nach der die Leitung der Wärme und Elektrizität besorgenden Elektronen insofern dauernd im Metall frei sind, als sie mit den Atomen ihrer Umgebung, von denen sie sich durch Dissoziation getrennt haben, in einer Art von Temperaturgleichgewicht stehen, zu einem Widerspruch mit der Erfahrung führt, indem der Wert für die spezifische Wärme der Metalle, wenn sie richtig wäre, viel größer (bei Silber zehnmal so groß) sein müßte, als er tatsächlich ist. Die andere Theorie, welche voraussetzt, daß die Elektronen nicht dauernd, sondern nur während der kurzen Zeit frei sind, die sie zur Zurücklegung des Weges von einem Atom zum Nachbaratom brauchen, vermeidet diese Schwierigkeit, und ihr ist, da sie alle anderen Beobachtungen ebensogut wie die erste Theorie erklärt, der Vorrang zu geben. Zwei Kapitel über den Aufbau der chemischen Atome aus positiver Elektrizität und negativen Elektronen und deren Anordnung im Atom beschließen das Buch..

Die Lektüre der »Korpuskulartheorie der Materie« ist nicht leicht, aber sie bietet dem, der die Mühe der Durcharbeitung nicht scheut, einen großen Genuß.“

Die Bindung des atmosphärischen Stickstoffs in Natur und Technik

Von *Dr. P. Vageler* in Königsberg i. Pr. Mit
16 Abbildungen im Text und auf 5 Tafeln. VIII,
132 S. 1908. Geh. M 4.50, geb. M 5.20.

Inhaltsverzeichnis. I. Einleitung. — II. Die Hauptquellen des gebundenen Stickstoffs. — III. Bindung von Stickstoff ohne Mitwirkung von Organismen. — IV. Die Bindung von atmosphärischem Stickstoff durch frei lebende Bakterien. 1. Grundlagen und Vorarbeiten. 2. *Clostridium pasteurianum* Win. und Verwandte. 3. Die Azotobaktergruppe und sonstige stickstoffsammelnde Bakterien. 4. Stickstoffbindung auf künstlichen Nährböden. — V. Die Stickstoffbindung durch frei lebende Bakterien im Boden. — VI. Stickstoffbindung durch sonstige frei lebende Organismen. — VII. Stickstoffbindung durch Bakterien und sonstige Mikroorganismen im Verein (Symbiose) mit grünen Pflanzen. 1. Grundlagen und Vorarbeiten. 2. Die Züchtung der Knöllchenerreger auf künstlichem Nährboden. 3. Knöllchenbakterien und Wirtspflanzen. — VIII. Die Bodenimpfung mit Knöllchenbakterien. — IX. Leguminosen als Stickstoffsammler in der Praxis. — X. Die Bindung des atmosphärischen Stickstoffs in der Technik. 1. Die Gewinnung des Luftstickstoffs mit Hilfe der Elektrizität. 2. Kalkstickstoff und Stickstoffkalk. — Schlußbetrachtung. — Register.

Aus den Besprechungen.

Monatsblätter des wissenschaftlichen Clubs in Wien. „Drohende Erschöpfung der Salpeterfundstätten, zunehmende Verwendung stickstoffhaltiger Düngemittel in der Landwirtschaft, anwachsender Bedarf von Salpetersäure in der chemischen Industrie machen es zu einem der wichtigsten Probleme der Hand in Hand arbeitenden technischen und Naturwissenschaften, sich in der Herstellung stickstoffhaltender und stickstoffabgebender Substanzen von dem gebundenen Stickstoff unabhängig und das unendliche Stickstoffreservoir der atmosphärischen Luft der Menschheit nutzbar zu machen.

Soviel man weiß, wird Stickstoff in der Natur von gewissen Pflanzen assimiliert unter Vermittlung lebender Organismen, lösliche Stickstoffverbindungen bilden sich in geringer Menge in der Luft, aber die fortgeschrittene Technik unserer Zeit hat ein Verfahren gefunden, den fast reaktionsunfähigen trägen Stickstoff der Luft durch Überleiten über erhitzte Karbide technisch zu verwerten und als jüngstes Glied in der Kette epochaler Erfolge der Elektrochemie den Stickstoff der Luft durch Durchleiten im elektrischen Flammenbogen zu oxydieren und sodann in lösliche Salze überzuführen.

Das hübsch illustrierte Büchlein, das das 26. Heft der im Viewegschen Verlage erscheinenden Sammlung »Die Wissenschaft« bildet, legt das Hauptgewicht der Darstellung auf die Assimilation des Stickstoffes durch lebende Organismen, welcher Abteil ungefähr die Hälfte der Seitenzahl umfaßt. Die Darstellung ist klar, ungemein populär und gleichzeitig wissenschaftlich, für die Interessenten der Frage, als da sind: Chemiker, Techniker, Landwirte, Volkswirtschaftler und Biologen ist es bestens zu empfehlen.“

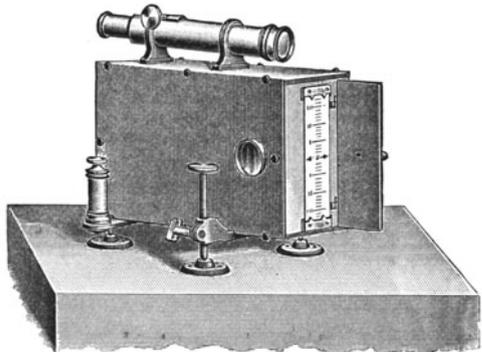
Die Schwerebestimmung an der Erdoberfläche

Von Prof. Dr. Joh. Bapt. Messerschmitt,
Konservator des Erdmagnetischen Observatoriums und der
Erdbebenhauptstation in München. Mit 25 Abbildungen.
VIII, 158 S. 1908. Geh. M 5.—, geb. M 5.80.

Inhaltsverzeichnis. I. Allgemeine Begriffe. 1. Richtung der Schwere. 2. Schwerpunkt. 3. Maß der Schwerkraft. — II. Der freie Fall. 1. Gesetze. 2. Die Schwere wirkt auf alle Körper gleich. 3. Fallmaschinen. — III. Allgemeine Schwere oder Gravitation. — IV. Das Pendel. 1. Mathematisches Pendel. 2. Physisches Pendel. 3. Spezielle Fälle. — V. Bestimmung der Intensität der Schwere durch Pendelmessungen. — VI. Absolute Messungen der Schwerkraft. 1. Fadenpendel. 2. Reversionspendel. — VII. Relative Schwerebestimmung. 1. Sternecksche Pendel. 2. Apparat von Defforges. 3. Andere Apparate. — VIII. Reduktion auf Meereshöhe. — IX. Die normale Schwerkraft in Meereshöhe. — X. Verteilung der Schwere auf der Erde, Konstitution der Erdrinde. — XI. Räumliche und zeitliche Veränderung der Schwerkraft, Krümmungsverhältnisse der Niveauflächen. — XII. Einfluß der Schwerkraft auf die geometrischen Höhenmessungen. — Literatur. — Register.

Aus den Besprechungen.

Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde. „Trotz der großen Bedeutung, welche die Schwerebestimmungen an der Erdoberfläche besonders in den drei letzten Jahrzehnten infolge der Vervollkommnung der Beobachtungs-Hilfsmittel und -Methoden gewonnen haben, ist doch die Theorie und Praxis der Messungen in weiten Kreisen so gut wie unbekannt geblieben. Hieran war zum Teil wohl Schuld, daß sich, so weit dem Referenten bekannt ist, in der vorhandenen Literatur kein geeignetes Buch für eine eingehendere, dabei aber keine größeren Ansprüche an die mathematische Vorbildung des Lesers stellende Einführung in das Gebiet der Schweremessungen findet. Diesem Mangel hilft das vorliegende Buch in glücklicher Weise ab...“



Die Kraftfelder

Von *V. Bjerknes*, *Professor der Mechanik und der mathematischen Physik an der Universität Christiania. Mit 29 Abbildungen. XVI, 174 S. 1909. Geh. M 7.—, geb. M 7.80.*

Inhaltsverzeichnis. Einleitung. 1. Kapitel. Kinetischer Auftrieb. 2. Kapitel. Die Kraft gegen einen pulsierenden Körper. 3. Kapitel. Felder und Fernwirkungen pulsierender Körper. 4. Kapitel. Flüssigkeitsbewegungen, erzeugt durch die Impulse äußerer Kräfte. 5. Kapitel. Felder und scheinbare Fernwirkungen oszillierender Körper. 6. Kapitel. Grenzflächenbedingungen an Heterogenitätsstellen. 7. Kapitel. Heterogenes flüssiges System mit undurchdringlichen Körpern. 8. Kapitel. Umriss der Theorie der Vektorfelder. 9. Kapitel. Über schwingende Bewegungen. 10. Kapitel. Die Grundgleichungen des hydrodynamischen Feldes mit undurchdringlichen Körpern. 11. Kapitel. Hydrodynamische Kraftfelder mit durchströmten Körpern. 12. Kapitel. Kraftfelder in flüssigen Medien mit gyrostatistischen Eigenschaften.

Aus den Besprechungen.

Annalen der Elektrotechnik. „Seit der Zeit Newtons pflegten die Physiker ihren Erklärungen der physikalischen Erscheinungen durchgehend die Vorstellung von Fernwirkungen zugrunde zu legen. Erst Faraday stellte dieser Auffassung die Idee des Kraftfeldes gegenüber. Nach ihm legte Maxwell in seinen berühmten Gleichungen die formalen Beziehungen des elektromagnetischen Kraftfeldes zu Raum und Zeit fest. Diese Theorie Maxwells erhielt durch die klassischen Versuche von H. Hertz eine glänzende Bestätigung, die den Erfolg hatte, daß von jetzt ab die Vorstellung von Kraftfeldern die Fernwirkungshypothese vollständig verdrängte. Was uns die Maxwellsche Theorie in endgültiger Form gegeben hat, ist aber nur die formale Beziehung der elektrischen und magnetischen Vektorgrößen zu Raum und Zeit. Über die innere Natur der Kraftfelder weiß man auch durch sie nichts Näheres. Das hier vorliegende Buch enthält in übersichtlicher Zusammenstellung die Resultate einer langen Reihe von Forschungen, welche unternommen sind mit dem Ziele, womöglich Licht auf diese dunkle Frage zu werfen. Unmittelbarer Gegenstand der Untersuchung sind nicht die elektromagnetischen Kraftfelder selbst, sondern ihnen analoge Felder, die in bewegten Flüssigkeiten und in Medien mit gewissen Elastizitätseigenschaften auftreten. Für das Studium dieser Felder hat der Verfasser neue Methoden geschaffen, welche eine einfache Ableitung der früher schwer zugänglichen Resultate gestatten. In sehr einfacher Weise entwickelt er die Theorie zweier Klassen von hydrodynamischen Felderscheinungen, der C. A. Bjerknesschen, wo schwingende, und der Euler-Kelvinschen, wo stationäre Bewegung der Flüssigkeit zugrunde liegt. Die bekannte, in beiden Fällen auftretende Analogie mit elektrostatischen oder magnetischen Feldern wird eingehend dargelegt, und die zur Verifikation der Resultate dienenden Versuche werden beschrieben. Als unmittelbare Fortsetzung dieser hydrodynamischen Untersuchung entwickelt der Verfasser die Theorie ähnlicher Kraftfelderscheinungen in Medien mit Elastizität der eigentümlichen gyrostatistischen Art, welche Mac Cullagh zur Erklärung optischer, und Lord Kelvin zur Veranschaulichung elektrodynamischer Erscheinungen einführten und die nach ihnen viele Forscher benutzt haben, um mechanische Bilder der allgem reinsten elektromagnetischen Felderscheinungen zu konstruieren.“

Physiologie der Stimme und Sprache

Von Prof. Dr. Hermann Gutzmann in Berlin.
Mit 92 zum Teil farbigen Abbildungen im Text
und auf 2 Tafeln. X, 208 S. 1909. Geh. M 8.—
geb. M 9.—

Inhaltsverzeichnis. I. Physiologie der Atmung und Stimme. A. Anatomische Vorbemerkungen. 1. Atmung. 2. Stimme. B. Die Atembewegungen beim Sprechen. 1. Registrierung der Atembewegungen. 2. Typus der normalen Sprechatmung. Registrierung des Atemvolumens beim Sprechen. C. Die Stimme. 1. Bildung der Stimme. 2. Tonhöhe und Tonstärke. 3. Register. 4. Genauigkeit der Stimme. 5. Stimmeinsätze. 6. Stimmlage und Stimmumfang. 7. Flüsterstimme u. Bauchrednerstimme. — II. Physiologie der Sprachlaute. A. Anatomische Vorbemerkungen. Der Aufbau des Ansatzrohres. B. Die Physiologie des Ansatzrohres: 1. Klanganalyse der Sprachlaute: a) Analyse der menschlichen Stimme durch einfaches Hören. b) Graphische Analyse der Klänge. c) Klangkurven. d) Analyse der Klangkurven. e) Resultate der Klanganalyse. f) Theorie der Vokale. g) Synthese der Vokale. h) Analyse der Konsonanten. 2. Formen und Bewegungen des Ansatzrohres: a) Analyse der Sprachbewegungen durch Beobachten. b) Analyse der Sprachbewegungen durch registrierende Instrumente: Akustische Registrierung; Optische Registrierung; Direkte Meßmethoden. c) Anwendung der Registrierung auf die einzelnen Bewegungen: Luftbewegung der Artikulation; Kehlkopfbewegungen; Unterkieferbewegungen; Zunge und Mundboden; Gaumensegel; Lippen. d) Apparate für die Gesamtaufnahme der Artikulationsorgane. e) Färbemethoden. 3. Die Sprachlaute: a) Vokale und Konsonanten. b) Die Vokale. c) Die Konsonanten: Verschlußlaute, Media und Tenuis; Reibelaute; *L*-Laute; *R*-Laute; Resonanten; Laute des vierten Artikulations-systems; Kehlkopflaute; Schmalzlaute (Clique). d) Die Sprachlaute in der Verbindung: Doppelvokale und Doppelkonsonanten; Silbe, Wort, Satz. 4. Die Akzente der Sprache. 5. Die phonetische Schrift. — Literaturverzeichnis.

Aus den Besprechungen.

Berliner klinische Wochenschrift. „Wie sehr Verfasser den Gegenstand beherrscht, geht aus der Klarheit seiner Darstellungen hervor; die Schilderung der an sich oft recht schwierigen Forschungsmethoden und die Deutung der Resultate läßt dem Leser manches einfach und verständlich erscheinen, was in Wirklichkeit nur durch mühsame Arbeit klargelegt werden konnte. Das Literaturverzeichnis enthält 263 Nummern. Das Buch ist unentbehrlich für den Spracharzt, den Laryngologen und für den Physiologen, ferner für den Taubstummenlehrer, für den Gesangspädagogen und den Lehrer der Rhetorik; aber auch für die Philologen, Linguisten und Phonetiker enthält es viel Wissenswertes. Vielleicht bekehrt es auch den einen oder anderen jener rückständigen Philologen, welche die experimentelle Phonetik noch nicht als Wissenschaftszweig anerkennen wollen. Für jeden Arzt aber wird die Lektüre des Buches, dem wir ein glänzendes Prognostikon stellen, belehrend und gnußreich sein.“

Medizinische Klinik. „... Durch seine eingehende, durch zahlreiche eigene Spezialforschungen begründete Orientierung auf diesem Wissensgebiet ist in der Tat Gutzmann in hervorragender Weise berufen und befähigt, die Kernpunkte zu erkennen und herauszuheben und eine wirklich gute Darstellung dieser für den Arzt und den Psychologen, Physiologen und den Physiker gleich wichtigen Materie zu geben. Das Buch kann der Beachtung derjenigen, welche in diesem und den angrenzenden wissenschaftlichen Gebieten arbeiten, nur warm empfohlen werden.“

Die atmosphärische Elektrizität

Methoden und Ergebnisse der modernen luftelektrischen Forschung

Von **H. Mache**, a. o. Prof. a. d. Techn. Hochschule in Wien,
und **E. v. Schweidler**, a. o. Prof. a. d. Universität in Wien.
Mit 20 Abbildungen. XI, 247 S. 1909. Geh.
M 6.—, geb. M 6.80.

Inhaltsverzeichnis. 1. Kapitel. Das elektrische Feld der Atmosphäre. Allgemeine Eigenschaften des Feldes. Instrumentarium zur Messung des Potentialgefälles. Methode der Messung des Potentialgefälles am Erdboden. Reduktion auf die Ebene. Methode der Messung des Potentialgefälles im Ballon. Beobachtungsergebnisse. — 2. Kapitel. Die Elektrizitätsleitung der Atmosphäre. Coulombs Zerstreungsgesetz. Der Elster-Geiteltsche Zerstreungsapparat. Grundzüge der Ionentheorie. Anwendung der Ionentheorie auf die Apparate zur Bestimmung der Leitung der freien Atmosphäre: 1. Der Elster-Geiteltsche Zerstreungsapparat mit Schutzzylinder, 2. Der Elster-Geiteltsche Zerstreungsapparat ohne Schutzzylinder. 3. Scherings Zerstreungsapparat. 4. Gerdiens Aspirator. Beobachtungsergebnisse: a) Zerstreungsbeobachtungen mit Schutzzylinder; b) Zerstreungsmessungen mit freistehendem Zerstreungskörper; c) Absolute Messungen des Leitvermögens. — 3. Kapitel. Die Ionen der Atmosphäre. Ionenzahl, Eberts Aspirator. Ionenbeweglichkeit. Wiedervereinigung der Ionen (Molisierung). Adsorption und Diffusion der Ionen. — 4. Kapitel. Die Ionisatoren und Elektrisatoren der Atmosphäre. A. Elektrisierung und Ionisierung beim Zerspritzen von Wasser in Luft. B. Elektrisierung durch die Emission von Elektronen von belichteten Oberflächenteilen der Erde, Lichtelektrische Aktinometrie. C. Ionisierung durch ultraviolettes Licht. D. Ionisierung durch Becquerelstrahlung: a) Die radioaktiven Substanzen; b) Das Vorkommen radioaktiver Substanzen auf der Erde und in der Atmosphäre: I. Allgemeine Verbreitung radioaktiver Substanzen im Erdboden; Radioaktivität von Gesteins- und Erdarten; Radioaktivität der Bodluft; Radioaktivität der Quellen. II. Vorkommen radioaktiver Emanationen und deren Zerfallsprodukte in der Atmosphäre. III. Die Bedeutung der radioaktiven Substanzen für die Ionisation der Atmosphäre. — 5. Kapitel. Elektrische Strömungen in der Atmosphäre. A. Der normale vertikale Leitungsstrom. B. Der durch die Zerfallsprodukte des Radiums und Thoriums getragene Strom. C. Konvektionsströme durch Luftbewegung. D. Konvektionsströme durch Niederschläge; Wilsons Kondensationstheorie. E. Summation der elektrischen Vertikalströme in der Atmosphäre. — 6. Kapitel. Leuchtende Entladungen in der Atmosphäre. A. Elektrische Gasentladungen im allgemeinen. B. Leuchtende Entladungen bei Gewittern: I. Die Entladungsformen bei Gewittern. II. Ionentheoretische Einordnung der natürlichen Entladungen. III. Die meteorologischen Bedingungen des Entstehens leuchtender Entladungen. C. Das Polarlicht. — 7. Kapitel. Theorien der atmosphärischen Elektrizität. — Literaturverzeichnis.

Aus den Besprechungen.

Elektrotechnische Zeitschrift. „In knapper, aber sehr klarer Form wird in diesem Buche geschildert, welcher Methoden sich die jetzige luftelektrische Forschung bedient, um die elektrischen Vorgänge in der Atmosphäre zu untersuchen, welche Ergebnisse allgemeinen Charakters dabei gewonnen wurden und welche Voraussetzungen theoretischer Natur sich als heuristisch wertvoll erwiesen haben...“

Das Klimaproblem der geologischen Vergangenheit u. histor. Gegenwart

*Von Dr. Wilh. R. Eckardt, Assistent am meteorolog.
Observatorium und der öffentl. Wetterdienststelle Aachen.
Mit 18 Abbildungen und 4 Karten. XI, 183 S. 1909.
Geh. M 6.50, geb. M 7.10.*

Inhaltsverzeichnis. Das Klimaproblem der geologischen Vergangenheit und historischen Gegenwart. Einleitung: Zweck und Bedeutung des Gegenstandes. Das Verhältnis der Geographie zu den Naturwissenschaften, insbesondere zur Geologie. Die Bedeutung der Ergebnisse der geologischen Forschung für die Geographie. Die Klimatologie. — Die Bodenbildung unter dem Einflusse des Klimas: Die mechanische Zerstörung des festen Gesteins. Die chemische Zersetzung desselben. — Das Klima der geologischen Vergangenheit. — Das Klima im Paläozoikum. — Die präkarbonen Perioden. — Das Karbon. — Die permokarbone Eiszeit und die Glossopterisflora. — Das Klima im Mesozoikum, besonders in der Jura- und Kreideperiode. — Das Klima in der Tertiärzeit. — Die diluviale Eis- oder Schneezeit. — Die Änderungen des Klimas in historischer Zeit, insbesondere das Austrocknungsproblem. — Der Einfluß des Waldes, bzw. einer Vegetationsdecke auf das Klima und den Wasserabfluß: a) Der Einfluß des Waldes auf die Temperaturverhältnisse. b) Der Einfluß des Waldes auf die Niederschläge. — Die Klimaschwankungen; Klima und Wirtschaft. — Die allgemeine Konstanz des heutigen Klimas. — Wichtige Aufgaben der Meteorologie und Klimatologie. — Literaturangaben.

Aus den Besprechungen.

Globus. „Der Verfasser hat sich die Aufgabe gestellt, die Klimate der geologischen Vergangenheit nicht, wie es nach seiner Ansicht seither fast nur geschehen, von rein geologischem Standpunkt, sondern von der allgemein naturwissenschaftlichen Seite zur Darstellung zu bringen. Er kommt dabei zu dem Schluß, daß die gesamten klimatischen Änderungen der geologischen Vorzeit, die in großen Zügen dargestellt werden, sich aus rein meteorologischen Verhältnissen erklären lassen, die ihrerseits wieder als Folgen von Polverschiebungen infolge geologischer Veränderungen auf der Erde aufgefaßt werden. Eine periodische Wiederkehr von Kältewellen im Permokarbon, Diluvium usw. sowie eine gleichmäßige Temperierung in früherer Zeit und erst spätere Differenzierung der Klimate wird abgelehnt und dagegen behauptet, daß schon von früherer Zeit her Zonen auf der Erde bestanden, wenn ihre Unterschiede vielleicht auch zeitweise nicht so ausgeprägt waren wie heute. Der Abschnitt über die Änderungen des Klimas in historischer Zeit behandelt vor allem den Einfluß des Waldes auf das Klima bzw. den Zusammenhang dieser beiden. Eine Klimaänderung seit historischen Zeiten ist nach Eckardt nicht nachweisbar. Der Schlußabschnitt weist kurz auf die außerordentliche Wichtigkeit der Erforschung der klimatologischen Bedingungen des Pflanzenwuchses sowie sonstiger klimatologischer Beobachtungen hin.“

Lichtbiologie. Die experimentellen Grundlagen der modernen Lichtbehandlung

Zusammengestellt von *Dr. med. Albert Jesionek*,
Professor an der Universität Gießen. VIII, 177 S. 1910. Geh.
M 4.—, geb. M 4.80.

Inhaltsverzeichnis. Einleitung. Allgemeine Bemerkungen über das Licht. — Die Einwirkung des Lichtes auf die Pflanzenwelt. — Die Einwirkungen des Lichtes auf die Bakterien. — Die Reizwirkung des Lichtes auf Bakterien und andere Mikroorganismen. — Die photodynamische Erscheinung. — Einwirkungen des Lichtes auf höhere Tiere. — Einwirkung des Lichtes auf die Haut des Menschen: Sonnenbrand und Gletscherbrand. Erfahrungen der Polarfahrer. Hautentzündung durch elektrisches Licht. Experimentelle Untersuchungen von Widmarck, Hammer, Finsen. Physiologisches Verhalten der Haut. Hautröte. Hauptpigment, Hornfarbe und Epidermistrübung. Haare. Tiefenwirkung. Penetrationsfähigkeit der einzelnen Strahlen. Penetrationsfähigkeit der ultravioletten Strahlen. Kleidung. Hitzschlag. — Die histologischen Veränderungen im belichteten Hautgewebe. — Das Licht als Ursache von Hautkrankheiten: Lichtentzündung. Schutzmaßnahmen. Hydroa aestivalis. Xeroderma pigmentosum. Sommersprossen, Warzen. Pellagra. Blattern. Rotlichtbehandlung. Lichtbehandlung nach Finsen. — Einwirkungen des Lichtes auf das Blut und auf den Stoffwechsel: Lichtregulierung. Quinckes und Behrings Experimente. Lumineszenz des Blutes. — Einwirkungen des Lichtes auf das Nervensystem: Experimente mit farbigem Licht. „Sinlich-sittliche Wirkung“ der Farben nach Goethe.

Aus dem Vorworte.

„... In diesem Werkchen beabsichtige ich nun keineswegs vom ärztlichen Standpunkte aus die verschiedenen Arten und Methoden der Lichtbehandlung in allen ihren Einzelheiten zu schildern und meine subjektiven Ansichten über den Wert und Unwert der verschiedenen lichttherapeutischen Bestrebungen ausführlich zu erörtern. Der Zweck meiner Ausführungen ist der, irrtümlichen Vorstellungen entgegen zu treten und denjenigen, die sich für diese Fragen interessieren, zu zeigen, daß sich die medizinische Forschung mit den Wirkungen des Lichtes auf die belebte Natur aufs eifrigste beschäftigt und bestrebt ist, aus dem Studium des Lichtes und seiner Eigenschaften für den Kranken und für den gesunden Menschen möglichst viel Vorteil zu ziehen. Dabei habe ich es mir angelegen sein lassen, aus der reichhaltigen Fülle der Literatur nur diejenigen Arbeiten zusammenzustellen, welche in die Beziehungen des Lichtes zum Leben ein sicheren Einblick gewähren und hinsichtlich der praktischen Verwertung des Lichtes zu grundlegenden Ergebnissen geführt haben. Auch mag diese Darstellung dazu dienen, den Leser über die weitausgebreiteten Bahnen und oft verschlungenen Pfade zu unterrichten, auf welchen sich die lichtbiologische Forschung bewegt. Nicht die verschiedenen Arten der Lichtbehandlung selbst, sondern vielmehr ihre Grundlagen, die in den verschiedenen Gebieten naturwissenschaftlicher Erkenntnis wurzeln, bilden den Gegenstand unserer Betrachtungen.“

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Legierungen

Von **Bernhard Dessau**, a. o. Professor der Physik an der Universität Perugia. Mit 82 Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln. VIII, 208 S. 1910. Geh. M 7.—, geb. M 8.—.

Inhaltsverzeichnis. I. Einleitung. — II. Allgemeines über Zweistoffsysteme. § 1. Heterogene Gleichgewichte. § 2. Gegenseitige Löslichkeit zweier Stoffe. § 3. Erkaltungs- und Erwärmungskurven. Schmelzdiagramme eines Zweistoffsystems ohne chemische Verbindungen und polymorphe Umwandlungen, mit vollständiger Mischbarkeit der Komponenten im flüssigen, vollständiger Nichtmischbarkeit im kristallisierten Zustande. § 4. Die Komponenten des Systems bilden miteinander eine unzersetz schmelzbare chemische Verbindung, die im kristallisierten Zustande mit den Komponenten nicht mischbar ist. § 5. Die Verbindung schmilzt unter Zersetzung. § 6. Die Komponenten des Systems bilden keine chemische Verbindung, sind aber sowohl im flüssigen wie im kristallisierten Zustande in allen Verhältnissen miteinander mischbar. § 7. Die Komponenten sind im kristallisierten Zustande schon bei der Schmelztemperatur nur beschränkt ineinander löslich. § 8. Beschränkte Mischbarkeit im flüssigen Zustande. § 9. Polymorphe Umwandlungen. — III. Untersuchungsmethoden. § 1. Thermische Analyse. § 2. Metallographie. § 3. Dilatometrische und kalorimetrische Methoden. — IV. Binäre Legierungen. § 1. Legierungen ohne chemische Verbindung der Komponenten. § 2. Binäre Legierungen mit Verbindungen. § 3. Verbindungsfähigkeit und Isomorphismus der Metalle. — V. Ternäre Legierungen. — VI. Die gewerblich wichtigsten Legierungen. § 1. Eisen und Kohlenstoff. § 2. Legierungen des Kupfers. — VII. Die physikalischen Eigenschaften. § 1. Mechanische und thermische Eigenschaften. § 2. Elektrische Leitfähigkeit. § 3. Der Magnetismus der Legierungen. § 4. Elektrolytische Lösungstension und elektromotorische Kraft. — Register.

Aus dem Vorwort.

„Die Zahl der Untersuchungen über die Konstitution und die Eigenschaften der Legierungen ist in den letzten Jahren so sehr angewachsen, daß der Überblick für denjenigen, der sich nicht speziell mit dem Gegenstande beschäftigt, immer schwieriger wird. Und doch bietet gerade dieses Kapitel der physikalischen Chemie nicht nur für die Chemiker und Technologen, von denen die wissenschaftliche Erforschung desselben in erster Linie betrieben wurde, sondern auch für den Physiker ein hervorragendes Interesse. Der Versuch, das einschlägige Material zusammenfassend darzustellen, bedarf darum kaum einer Rechtfertigung. Der jetzige Zeitpunkt erschien hierfür um so geeigneter, als die Klarlegung der Konstitution der binären Legierungen dank den Arbeiten Tammanns und seiner Schüler gegenwärtig zu einem gewissen Abschlusse gediehen und damit auch für das Studium der Legierungen von mehr als zwei Komponenten, sowie für die systematische Bearbeitung des Zusammenhanges zwischen den verschiedenen Eigenschaften und der Konstitution der Legierungen erst die rationelle Grundlage gewonnen ist. In dieser Hinsicht mag die vorliegende Arbeit auch zu weiterer Forschung anregen, wenngleich begreiflicherweise die Originaluntersuchungen weder alle berücksichtigt, noch in Form von Literaturangaben sämtlich erwähnt werden konnten. Vollständigkeit wurde nur insofern angestrebt, als die verschiedenen Typen, denen man bei der Untersuchung der Konstitution der Legierungen begegnet, an charakteristischen Beispielen erläutert wurden...“

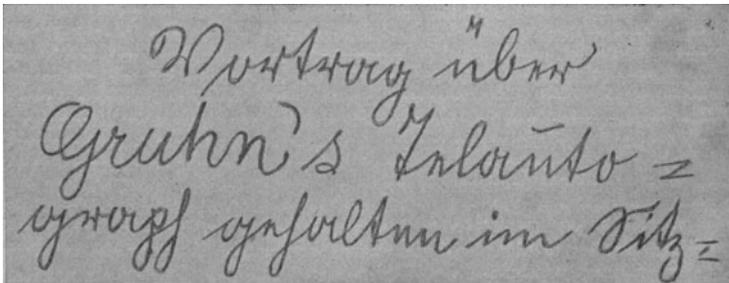
Die elektrische Fernübertragung von Bildern

Von **Dr. Robert Pohl**, Assistenten am Physikalischen Institut der Universität Berlin. Mit 25 Abbildungen.
VIII, 45 S. 1910. Geh. M 1.80, geb. M 2.50.

Inhaltsverzeichnis. Einleitung. — 1. Kapitel. Die Möglichkeiten der elektrischen Zeichenübertragung. — 2. Kapitel. Über Synchronismus. Zerlegung der Bilder in Flächenelemente. Uhrwerke. Casellis Pendelsynchronisierung. Nebenschlußmotore mit Zentrifugalregulatoren. Synchronisierung des Hughes-Apparates. Synchronisierung mit Korrektionsströmen. — 3. Kapitel. Kopiertelegraphen für einen Leitungsdraht. Allgemeine Ausführung. Bakewells Kopiertelegraph. Casellis Pantelegraph. Kopiertelegraphie mittels elektrischer Wellen. — 4. Kapitel. Kopiertelegraphen für zwei Leitungsdrähte. Telautographen. — 5. Kapitel. Apparate für elektrische Fernphotographie (I. Teil). Unterschied von den Kopiertelegraphen. Einteilung der Apparate. Die Empfangsapparate. Sender für Reliefbilder. Herstellung der Reliefs. Benutzung elektrischer Wellen. — 6. Kapitel. Apparate für elektrische Fernphotographie (II. Teil). Sender mit Selenzellen. Selen und Selenzellen. Selenträgheit und Kompensation. Erste Versuche mit Selensendern. Apparat Bidwells. Empfänger Korns. — 7. Kapitel. Vergrößerung der Übertragungsgeschwindigkeit.

Vorwort.

„Die große Beachtung, die das Problem der elektrischen Fernübertragung von Zeichnungen und Bildern in weiteren Kreisen gefunden hat, ließ es den Herausgebern der »Wissenschaft« wünschenswert erscheinen, eine Darstellung der bisherigen Entwicklung des Problems in die Sammlung aufzunehmen. Für eine derartige zusammenfassende Darstellung ist die größte Kürze geboten... Es liegt in der Natur des Problems, daß sich die Ausführungen zum Teil auf technischem Gebiete bewegen müssen. Doch habe ich mich bemüht, alle rein konstruktiven Einzelheiten auszuschalten, wiewohl in diesen zurzeit die eigentlichen praktischen Schwierigkeiten liegen und gerade in der technischen Durcharbeitung der Fortschritt dieser im Prinzip schon seit vielen Jahrzehnten bekannten Apparate zu suchen ist.“



DIE WISSENSCHAFT Sammlung naturwissenschaftlicher u.
mathematischer Einzeldarstellungen.

Bis jetzt erschienen:

1. Heft: **Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen** von **Mme. S. Curie**.
Übersetzt und mit Literaturergänzungen versehen von **W. Kaufmann**.
Dritte Auflage. Mit 14 Abbild. Preis *ℳ* 3,—, geb. *ℳ* 3,80.
2. Heft: **Die Kathodenstrahlen** von Prof. Dr. **G. C. Schmidt**. Zweite ver-
besserte u. verm. Auflage. Mit 50 Abbild. Preis *ℳ* 3,—, geb. *ℳ* 3,60.
3. Heft: **Elektrizität und Materie** von Prof. Dr. **J. J. Thomson**. Autorisierte
Übersetzung von **G. Siebert**. Zweite verbesserte Auflage. Mit 21 Ab-
bildungen. Preis *ℳ* 3,—, geb. *ℳ* 3,60.
4. Heft: **Die physikalischen Eigenschaften der Seen** von Dr. **Otto Freiherr von**
und zu Aufsess. Mit 36 Abbild. Preis *ℳ* 3,—, geb. *ℳ* 3,60.
5. Heft: **Die Entwicklung der elektrischen Messungen** von Dr. **O. Frölich**.
Mit 124 Abbild. Preis *ℳ* 6,—, geb. *ℳ* 6,80.
6. Heft: **Elektromagnetische Schwingungen und Wellen** von Prof. Dr. **Josef**
Ritter v. Geitler. Mit 86 Abbild. Preis *ℳ* 4,50, geb. *ℳ* 5,20.
7. Heft: **Die neuere Entwicklung der Kristallographie** von Prof. Dr. **H. Baum-**
hauer. Mit 46 Abbild. Preis *ℳ* 4,—, geb. *ℳ* 4,60.
8. Heft: **Neuere Anschauungen auf dem Gebiete der anorganischen Chemie**
von Prof. Dr. **A. Werner**. Zweite durchgesehene und vermehrte Auf-
lage. Preis *ℳ* 9,—, geb. *ℳ* 10,—.
9. Heft: **Die tierischen Gifte** von Dr. **Edwin S. Faust**. Preis *ℳ* 6,—,
geb. *ℳ* 6,80.
10. Heft: **Die psychischen Maßmethoden** von Dr. **G. F. Lipps**. Mit 6 Abbild.
Preis *ℳ* 3,50, geb. *ℳ* 4,10.
11. Heft: **Der Bau des Fixsternsystems** von Prof. Dr. **Hermann Kobold**. Mit
19 Abbild. und 3 Tafeln. Preis *ℳ* 6,50, geb. *ℳ* 7,30.
12. Heft: **Die Fortschritte der kinetischen Gastheorie** von Prof. Dr. **G. Jäger**.
Mit 8 Abbild. Preis *ℳ* 3,50, geb. *ℳ* 4,10.
13. Heft: **Petrogenesis** von Prof. Dr. **C. Doelter**. Mit 1 Lichtdrucktafel und
5 Abbild. Preis *ℳ* 7,—, geb. *ℳ* 7,80.
14. Heft: **Die Grundlagen der Farbenphotographie** von Dr. **B. Donath**. Mit
35 Abbild. u. 1 farb. Ausschlagtafel. Preis *ℳ* 5,—, geb. *ℳ* 5,80.
15. Heft: **Höhlenkunde** mit Berücksichtigung d. Karstphänomene von Dr. phil.
Walther von Knebel. Mit 42 Abbild. Preis *ℳ* 5,50, geb. *ℳ* 6,30.
16. Heft: **Die Eiszeit** von Prof. Dr. **F. E. Geinitz**. Mit 25 Abbild., 3 farbigen
Tafeln und einer Tabelle. Preis *ℳ* 7,—, geb. *ℳ* 7,80.
17. Heft: **Die Anwendung der Interferenzen** in der Spektroskopie u. Metrologie
von Dr. **E. Gehrcke**. Mit 73 Abbild. Preis *ℳ* 5,50, geb. *ℳ* 6,20.
8. Heft: **Kinematik organischer Gelenke** von Prof. Dr. **Otto Fischer**. Mit
77 Abbild. Preis *ℳ* 8,—, geb. *ℳ* 9,—.
19. Heft: **Franz Neumann und sein Wirken als Forscher und Lehrer** von
Prof. Dr. **A. Wangerin**. Mit einer Textfigur und einem Bildnis Neumanns
in Heliogravüre. Preis *ℳ* 5,50, geb. *ℳ* 6,20.

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

DIE WISSENSCHAFT Sammlung naturwissenschaftlicher u. mathematischer Einzeldarstellungen.

20. Heft: **Die Zustandsgleichung der Gase u. Flüssigkeiten u. die Kontinuitätstheorie** v. Prof. Dr. J. P. Kuenen. Mit 9 Abb. Preis *ℳ* 6,50, geb. *ℳ* 7,10.
21. Heft: **Radioaktive Umwandlungen** von Prof. E. Rutherford. Übersetzt von M. Levin. Mit 53 Abbild. Preis *ℳ* 8,—, geb. *ℳ* 8,60.
22. Heft: **Kant und die Naturwissenschaft** von Prof. Dr. Edm. König. Preis geh. *ℳ* 6,—, geb. *ℳ* 7,—.
23. Heft: **Synthetisch-organische Chemie d. Neuzeit** von Prof. Dr. Jul. Schmidt. Preis *ℳ* 5,50, geb. *ℳ* 6,20.
24. Heft: **Die chemische Affinität und ihre Messung** von Dr. Otto Sackur. Mit 5 Abbildungen im Text. Preis *ℳ* 4,—, geb. *ℳ* 4,80.
25. Heft: **Die Korpuskulartheorie der Materie** von Prof. Dr. J. J. Thomson. Autorisierte Übersetzung von G. Siebert. Mit 29 in den Text eingedruckten Abbildungen. Preis *ℳ* 5,—, geb. *ℳ* 5,80.
26. Heft: **Die Bindung des atmosphärischen Stickstoffs in Natur und Technik** von Dr. P. Vageler. Mit 16 Abbildungen im Text und auf 5 Tafeln. Preis *ℳ* 4,50, geb. *ℳ* 5,20.
27. Heft: **Die Schwerebestimmung an der Erdoberfläche** von Prof. Dr. Joh. Bapt. Messerschmitt. Mit 25 Abbildungen. Preis *ℳ* 5,—, geb. *ℳ* 5,80.
28. Heft: **Die Kraftfelder** von Prof. V. Bjerknes. Mit 29 Abbildungen. Preis *ℳ* 7,—, geb. *ℳ* 7,80.
29. Heft: **Physiologie der Stimme und Sprache** von Prof. Dr. Hermann Gutzmann. Mit 92 Abbildungen im Text und auf 2 Tafeln, zum Teil in Farbendruck. Preis geh. *ℳ* 8,—, geb. *ℳ* 9,—.
30. Heft: **Die atmosphärische Elektrizität.** Methoden und Ergebnisse der modernen lufterlektrischen Forschung von Prof. H. Mache und Prof. E. v. Schweidler. Preis *ℳ* 6,—, geb. *ℳ* 6,80.
31. Heft: **Das Klimaproblem der geologischen Vergangenheit und historischen Gegenwart** von Dr. Wilh. R. Eckardt. Mit 18 Abbildungen und 4 Karten. Preis *ℳ* 6,50, geb. *ℳ* 7,10.
32. Heft: **Lichtbiologie.** Die experimentellen Grundlagen der modernen Lichtbehandlung, zusammengestellt von Dr. Albert Jesionek, Professor an der Universität Gießen. 1910. Preis *ℳ* 4,—, geb. *ℳ* 4,80.
33. Heft: **Die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Legierungen.** Von Prof. Dr. Bernh. Dessau. Mit 82 Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln. Preis *ℳ* 7,—, geb. *ℳ* 8,—.
34. Heft: **Die elektrische Fernübertragung von Bildern.** Von Dr. Rob. Pohl. Mit 25 Abbildungen. Preis *ℳ* 1,80, geb. *ℳ* 2,50.
35. Heft: **Die elektrischen Erscheinungen in metallischen Leitern.** (Leitung, Thermoelektrizität, Galvanomagnetische Effekte, Optik). Von Professor Dr. K. Baedeker. Mit 25 Abbildungen. Preis *ℳ* 4,—, geb. *ℳ* 4,80.

(Weitere Hefte in Vorbereitung.)

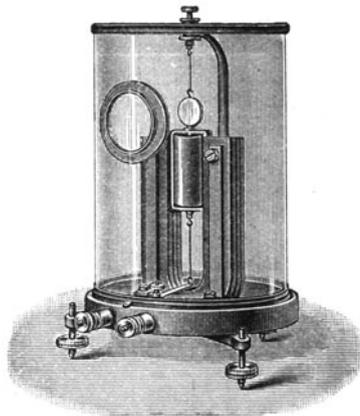
Ausführl. Verzeichnis über die einzelnen Bände mit Inhaltsangabe i sw. kostenlos.

Die Entwicklung der elektrischen Messungen

Von **Dr. O. Frölich**. Mit 124 Abbildungen.
XII, 192 S. 1905. Geh. M 6.—, geb. M 6.80.

Inhaltsverzeichnis. Die Meßinstrumente. Die Strommesser. a) Die ersten Galvanometer. Oersted, Schweigger. Ohm, Ampère, Biot-Savart. Nobili, H. Davy, Faraday. Kalibrierung. Methode von Petrina. Formel von Poggendorf. b) Die Spiegelgalvanometer. Gauss. Spiegelablesung. Gauss und W. Weber. Coulomb. Methoden von W. Weber. Telegraphie und Spiegelgalvanometer. Dämpfung. Spätere Spiegelgalvanometer. Spiegelgalvanometer mit Drehspule. c) Galvanometer mit direkter Ablesung und absoluten Angaben. Elektromagnetische Wage. Sinusbussole. Tangentenbussole. Pouillet. Helmholtz. Gauguin. Riecke. Absolutes Maßsystem. Torstonsgalvanometer von Siemens und Halske. Instrumente von Weston. Elektrolytische Strommesser. d) Schalttafelinstrumente. Erfordernisse von Schalttafelinstrumenten. Schalttafel-

instrumente mit permanenten Magneten und beweglicher Stromspule. Carpentier. Schalttafelinstrumente mit Eisenkernen. Hitzdrahtinstrumente. e) Galvanoskop. Anwendung für Telegraphie und Messungen. f) Elektrodynamometer und Wechselstrommesser. Elektrodynamometer von W. Weber. Spätere Elektrodynamometer. Andere Instrumente für Wechselstrom. Technische Elektrodynamometer. Energiemessung mittels Elektrodynamometer. Neuere technische Elektrodynamometer. Ferrarisinstrumente. Spannungsmesser. Übersicht. Elektrostatische Spannungsmesser. Kapillarelektrometer. Widerstandsapparate. Maßeinheiten. Widerstandsskalen. Kondensatoren. Selbstinduktionsskalen. Apparate zur Messung magnetischer Eigenschaften. Elektrische Wärmemesser. Elektrizitätszähler. Uhrzähler. Motorzähler. Induktionszähler. Elektrische Registrierapparate. Elektrische Registrierungen. Registrierung elektrischer Vorgänge. Oszillographen. Widerstandsmesser. Elektrische Geschwindigkeitsmesser. Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft. — Die Meßmethoden. Die Methoden der Strommessung. Die Methoden der Spannungsmessung. Spannungsmessung durch Strommessung. Spannungsmessung mittels Normalelemente. Transformation der Spannung. Die Methoden der Widerstandsmessung. Methoden von W. Weber. Wheatstone'sche Brücke. Formen der Meßbrücke. Temperaturmessung mittels Meßbrücke. Sehr kleine Widerstände; Thomson'sche Meßbrücke. Sehr hohe Widerstände; Kabelmessungen. Einfluß von Ladung und Selbstinduktion. Einfluß von elektromotorischen Kräften; Widerstand von Zersetzungszellen, Batterien usw. Neumann. Kohlrusch. Mance. Lutteroth. Frölich. Fehlerbestimmungen. Messung des Widerstandes aus Strom und Spannung. Isolationswiderstand von Anlagen im Betriebe. Methoden zur Bestimmung der Selbstinduktion. Methoden von Maxwell. Neuere Methoden. Wien. Messungen für Fernsprechzwecke. Die Methoden der Wechselstrommessung. Zusammenstellung. Rückblick.



Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

- Abbe**, Ernst, **Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop.** Bearbeitet und herausgegeben von Otto Lummer und Fritz Reiche. Mit 57 Abbildungen und einem Bildnis Ernst Abbes. XII, 108 S. gr. 8°. 1910.
№ 5,—, in Lnwdbd. № 6,—.
- Bjerknes**, Prof. V., **Die Kraftfelder.** Mit 29 Abbild. XVI, 174 S. 8°. 1909.
(„Die Wissenschaft“, Heft 28.) *№ 7,—, in Lnwdbd. № 7,80.*
- Chwolson**, Prof. O. D., **Lehrbuch der Physik.** gr. 8°.
- I. Band. Einleitung — Mechanik — Einige Meßinstrumente und Meßmethoden — Die Lehre von den Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern. Übersetzt von H. Pflaum. Mit 412 Abbildungen. XX, 792 S. 1902. *№ 12,—, in Hlbfrzbd. № 14,—.*
- II. Band. Lehre vom Schall (Akustik) — Lehre von der strahlenden Energie. Übersetzt von H. Pflaum. Mit 658 Abbild. und 3 Stereoskopbildern. XXII, 1056 S. 1904.
№ 18,—, in Hlbfrzbd. № 20,—.
- III. Band. Die Lehre von der Wärme. Übersetzt von E. Berg. Mit 259 Abbild. XI, 988 S. 1905. *№ 16,—, in Hlbfrzbd. № 18,—.*
- IV. Band. Die Lehre von der Elektrizität. Übersetzt v. H. Pflaum.
1. Hälfte. Mit 336 Abbild. XII, 915 S. 1908.
№ 16,—, in Hlbfrzbd. № 18,—.
2. Abteilung des IV. Bandes in Vorbereitung.
- Curie**, Madame S., **Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen.** Übersetzt und mit Literatur-Ergänzungen versehen von W. Kaufmann. 3. unveränderte Auflage. Mit 14 Abbild. VIII, 132 S. 8°. 1904. („Die Wissenschaft“, Heft 1.) *№ 3,—, in Lnwdbd. № 3,80.*
- Frölich**, Dr. O., **Die Entwicklung der elektrischen Messungen.** Mit 124 Abbild. XII, 192 S. 8°. 1905. („Die Wissenschaft“, Heft 5.)
№ 6,—, in Lnwdbd. № 6,80.
- Geitler**, Prof. Dr. Josef Ritter von, **Elektromagnetische Schwingungen und Wellen.** Mit 86 Abbild. VIII, 154 S. 8°. 1905. („Die Wissenschaft“, Heft 6.) *№ 4,50, geb. in Lnwdbd. № 5,20.*
- Laar**, J. J. van, **Sechs Vorträge über das thermodynamische Potential** und seine Anwendungen auf chemische und physikalische Gleichgewichtsprobleme. Eingeleitet durch zwei Vorträge über nichtverdünnte Lösungen und über den osmotischen Druck. VIII, 119 S. gr. 8°. 1906.
№ 3,50, in Lnwdbd. № 4,20.
- Lehmann**, Prof. Dr. Otto, **Das Kristallisationsmikroskop** und die damit gemachten Entdeckungen, insbesondere die der flüssigen Kristalle. Mit 48 Abbildungen im Text und auf einer Tafel. VII, 112 S. gr. 8°. 1910.
№ 3,—.
- Liebethal**, Prof. Dr. Emil, **Praktische Photometrie.** Mit 201 Abbildungen. XV, 445 S. gr. 8°. 1907. *№ 19,—, in Lnwdbd. № 20,—.*
- Lorentz**, H. A., **Sichtbare und unsichtbare Bewegungen.** Vorträge auf Einladung des Vorstandes des Departements Leiden der Maatschappij tot nut van't algemeen im Februar und März 1901 gehalten. Unter Mitwirkung des Verfassers aus dem Holländischen übersetzt von G. Siebert. 2. vom Verfasser revidierte Auflage. Mit 40 Abbildungen. VII, 123 S. gr. 8°. 1910.
№ 3,—, in Lnwdbd. № 4,—.

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

- Mache**, Prof. H., und **v. Schweidler**, Prof. E., **Die atmosphärische Elektrizität.** Methoden und Ergebnisse der modernen luftelektrischen Forschung. Mit 20 Abbild. XI, 247 S. 8°. 1909. („*Die Wissenschaft*“, Heft 30.)
M 6,—, in Lnwdbd. M 6,80.
- Messerschmitt**, Prof. Dr. Joh. Bapt., **Die Schwerebestimmung an der Erdoberfläche.** Mit 25 Abbild. VIII, 158 S. 8°. 1908. („*Die Wissenschaft*“, Heft 27.)
M 5,—, in Lnwdbd. M 5,80.
- Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie.** In 4 Bänden. 10. umgearbeitete und vermehrte Auflage. Herausgegeben von Prof. Dr. Leopold Pfaundler-Graz. Mit über 3000 Abbild. und Tafeln, zum Teil in Farbendruck. gr. 8°.
- I. Band. (1. und 2. Buch.) Mechanik und Akustik von Prof. Dr. Leopold Pfaundler. XVIII, 802 S. 1906.
M 10,50, in Hlbfrzbd. M 12,50.
- II. Band. (3. Buch.) Die Lehre von der strahlenden Energie (Optik) von Prof. Otto Lummer. XXVII, 1189 S. 1907—09.
M 24,—, in Hlbfrzbd. M 27,—.
- III. Band. (4. Buch.) Wärmelehre, Chemische Physik, Thermodynamik und Meteorologie von Prof. Dr. Leopold Pfaundler, Privatdozent Dr. K. Drucker, Prof. Dr. A. Wassmuth, Prof. Dr. J. Hann. XIV, 923 S. 1907. M 16,—, in Hlbfrzbd. M 18,—.
- IV. Band. (5. Buch.) 1. Abteilung: Magnetismus und Elektrizität von Prof. Dr. Walter Kaufmann und Prof. Dr. Alfred Coehn. XII, 622 S. 1909. M 13,—, in Hlbfrzbd. M 15,—.
- IV. Band: 2. Abteilung (Schluß) unter der Presse.
- Orlich**, Dr. Ernst, **Kapazität und Induktivität**, ihre Begriffsbestimmung, Berechnung und Messung. Mit 124 Abbild. u. 1 Kurventafel. VII, 294 S. 8°. 1909. („*Elektrotechnik in Einzeldarstellungen*“, Heft 14.)
M 14,—, in Lnwdbd. M 15,—.
- Thomson**, Prof. J. J., **Elektrizität und Materie.** Autorisierte Übersetzung von G. Siebert. 2. verbesserte Auflage. Mit 21 Abbild. VIII, 116 S. 8°. 1909. („*Die Wissenschaft*“, Heft 3.) M 3,—, in Lnwdbd. M 3,60.
- **Die Korpuskulartheorie der Materie.** Autorisierte Übersetzung von G. Siebert. Mit 29 Abbild. VIII, 166 S. 8°. 1908. („*Die Wissenschaft*“, Heft 25.) M 5,—, in Lnwdbd. M 5,80.
- Waltenhofen**, Prof. Dr. A. von, **Die internationalen absoluten Maße**, insbesondere die elektrischen Maße, für Studierende der Elektrotechnik in Theorie und Anwendung dargestellt und durch Beispiele erläutert. 3. zugleich als Einleitung in die Elektrotechnik bearbeitete Auflage. Mit 42 Figuren. XI, 306 S. gr. 8°. 1902. M 8,—, in Lnwdbd. M 9,—.
- Wernicke**, Gustav, **Elektrotechnische Messungen und Meßinstrumente.** Mit 92 Abbild. VIII, 138 S. 8°. 1908. („*Elektrotechnik in Einzeldarstellungen*“, Heft 13.) M 5,—, in Lnwdbd. M 5,60.