

Theorie der zusammengesetzten Waagen

Waagen mit Gewichtsschale, Laufgewichtswaagen
Neigungswaagen, Balkenwaagen, Brückenwaagen

Von

Julius Zingler

Oberregierungsrat und Mitglied der
Phys.-Techn.-Reichsanstalt i.R.

Mit 53 Textabbildungen



Berlin
Verlag von Julius Springer
1928

ISBN 978-3-642-51781-5 ISBN 978-3-642-51821-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-51821-8

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1928 by Julius Springer in Berlin.
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1928

Vorwort.

Auf dem Gebiet der zusammengesetzten Waagen hat in den letzten Jahrzehnten eine ungewöhnlich starke Entwicklung eingesetzt. Veranlaßt durch die besonderen Bedürfnisse der verschiedenen Betriebszweige des Erwerbslebens, sind so zahlreiche und so verschiedenartige neue Bauarten entstanden, wie sie kein Meßgerät aufzuweisen hat. Eine Übersicht über dieses ganze Gebiet gibt die von dem Verfasser im amtlichen Auftrage bearbeitete und im Jahre 1914 von der damaligen Kais. Normal-Eichungs-Kommission veröffentlichte Beschreibung der bis dahin zur Eichung zugelassenen Waagenarten, sowie ihre Fortsetzungen in den Bekanntmachungen der Behörde.

Während durch diese Veröffentlichung eine vollständige Systematik der Waagen geschaffen war, fehlte es bisher noch an einer zusammenfassenden Theorie der zusammengesetzten Waagen, die inzwischen, zumal nach der Zulassung der Neigungswaagen im öffentlichen Verkehr, zu einem dringenden Bedürfnis geworden ist.

Zwar ist die Theorie der einfachen, gleicharmigen Feinwaage vollkommen durchgebildet und in dem Buch „Theorie, Konstruktion und Gebrauch der feineren Hebelwaage“ von Felgenträger erschöpfend dargestellt. Mit dieser Theorie ist aber auf dem Gebiet der Großwaagen wenig anzufangen. Denn die Theorie der zusammengesetzten Waagen erfordert eine grundverschiedene Art der Behandlung, weil einerseits gewisse Fehlerquellen der Feinwaagen, bei denen die Genauigkeit der Massenbestimmung unter Umständen das Mehrtausendfache derjenigen der Großwaagen erreichen kann, bei diesen nicht in Betracht kommen, andererseits neue Fehlerquellen hinzutreten, die der Theorie der zusammengesetzten Waagen das ihr eigentümliche Gepräge geben.

Das vorliegende Buch, das im Verlauf der Tätigkeit des Verfassers bei der einstigen Kais. Normal-Eichungs-Kommission, späteren Reichsanstalt für Maß und Gewicht und jetzigen Abteilung I der Phys.-Techn. Reichsanstalt entstanden ist, behandelt im ersten Teil die allgemeinen, die Waage betreffenden physikalischen Grundbegriffe und -Gesetze, die verschiedenen vorkommenden Waagengattungen, die Bestandteile der Waagen und ihre Zusammensetzung, sowie die für die Theorie in Betracht kommenden mathematischen Grundgrößen.

Im zweiten Teil werden die Waagen mit fester Einspielungslage behandelt, die je nach der Einrichtung der Gewichtseite in die beiden Hauptgruppen, die Waagen mit Gewichtsschale und Gewichtssatz und die Laufgewichtswaagen, und je nach der Einrichtung der Lastseite in Balken- und Brückenwaagen eingeteilt werden. In neun aufeinanderfolgenden Abschnitten werden die Bedingungsgleichungen für das Gleich-

gewicht der Waagen der verschiedenen Arten ohne und mit Berücksichtigung der Biegung der Hebel, die Formeln für die Empfindlichkeit, die Wägungsgleichungen und unter Einführung der Begriffe „Richtigkeit“ und „Fehler“ einer Waage die Fehlergleichungen entwickelt. Weiter werden der Einfluß der Biegung der Brücke bei Brückewaagen und der anderer Fehlerquellen erörtert, und ferner die Formeln für die Schwingungsdauer der Ein- und Zweihebelwaage abgeleitet. Besonders eingehend ist mit Rücksicht auf das Eichwesen die Prüfung der Waagen, im besonderen die der Laufgewichtsskalen behandelt. Den Schluß dieses Teiles bildet die Erörterung der verschiedenen Möglichkeiten der Justierung der Waagen.

Im dritten und letzten Teil folgt die Theorie der seit etwa einem Jahrzehnt in Deutschland zur Eichung zugelassenen Neigungswaagen. Diese Waagen geben das Gewicht einer Stückware unmittelbar und im Augenblick an und gestatten auch im allgemeinen gegenüber den bisher gebräuchlichen Waagen ein schnelleres Abwägen eines bestimmten Gewichts einer Mengenware. Sie sind für den Verkäufer ganz besonders bequem, wenn sie, wie es bei Kleinwaagen wohl ausnahmslos der Fall ist, mit Preisskalen versehen sind.

Die hier entwickelte Theorie erstreckt sich auf die beiden Hauptarten, die Waagen mit Lastschneide am Neigungshebel und diejenigen mit exzentrisch angeordneter Kreiskurvenscheibe und auf- und abwickelbarem Stahlband.

Entsprechend dem Anwendungsgebiet der betrachteten Waagen, das sich ganz auf das praktische Erwerbsleben beschränkt, ist die Theorie stets nur soweit entwickelt, wie sie praktisch verwertbar und für das Verständnis der Waagen nötig ist. Auch ist sie, um sie weitesten Kreisen verständlich zu machen, soweit dies irgend angängig war, mit Beschränkung auf die Hilfsmittel der Elementarmathematik entwickelt worden, ohne ihrem streng wissenschaftlichen Charakter Abbruch zu tun. Nur in den Fällen, in denen die Ableitung der Formeln auf elementarem Wege unverhältnismäßig umständliche Berechnungen notwendig macht, wie z. B. bei Ableitung der Formeln für die Empfindlichkeit der Mehrhebelwaagen, sowie auch bei Bestimmung der Höchst- und Tiefstwerte der Fehlergleichungen mußte die Differentialrechnung zu Hilfe genommen werden. Dabei sind jedoch die Formeln für die Empfindlichkeit der einfachen Waagen auf elementarem Wege entwickelt worden, um dem mit der Differentialrechnung unbekanntem Leser an einem Beispiel die Art der Entwicklung zu zeigen.

Berlin, im Januar 1928.

J. Zingler.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil

Allgemeines

	Seite
1. Zweck der Waage	1
2. Wägen und Abwägen	1
3. Gewicht. Wahres Gewicht. Scheinbares Gewicht	2
4. Masse. Menge der Materie	3
5. Hebel	4
6. Das Hebelgesetz. Arm einer Kraft. Hebelarm. Kraftwinkel. Arbeit	4
7. Verschiedene Arten der Abgleichung. Waagengattungen. Waagen mit Gewichtsschale. Laufgewichtswaagen. Neigungswaagen. Balkenwaagen. Brückenwaagen	7
8. Bestandteile der Waage und ihre Bezeichnung	13
9. Die in der Theorie der Waagen vorkommenden Grundgrößen und ihre Bezeichnung	16
10. Die Brückenwaage eine Vereinigung von Balkenwaagen. Belastungspunkt, Belastungsfeld der Brücke. Mittenabstand, Einseitigkeit der Last. Verteilung der Last auf die Lastschneiden	18

Zweiter Teil

Waagen mit fester Einspielungslage. Waagen mit Gewichtsschale. Laufgewichtswaagen.

I. Gleichgewicht. Empfindlichkeit (E). Trägheit (Unempfindlichkeit U) der Waagen

11. Beschränkende Voraussetzungen	21
12. Begriffsbestimmungen	21
13. Änderung der Kraftwinkel bei einer Drehung des Hebels oder Hebelwerks	23
14. Schwingungsverhältnis hintereinander geschalteter Hebel	24
15. Gleichgewicht und Trägheit der einfachen Balkenwaage (Einhebelwaage)	24
16. Gleichgewichtszustand der Waage. Stabiles, indifferentes, labiles Gleichgewicht	27
17. Abhängigkeit der Trägheit der Waage von der Größe der Belastung bei Annahme starrer Hebel	28
18. Abhängigkeit der Trägheit der Waage von der Biegung des Hebels	31
19. Tafel der Trägheiten und Trägheitskurve der Einhebelwaage	33
20. Die Gleichung für die Trägheit der Einhebelwaage in anderer Form	36
21. Gleichgewicht und Trägheit der Zweihebelwaage	37
22. Abhängigkeit der Trägheit der Zweihebelwaage von den Trägheiten der beiden Einhebelwaagen, aus denen sie zusammengesetzt ist	39
23. Gleichgewicht und Trägheit der Straßburger Brückenwaage (Bauart A)	41
24. Gleichgewicht und Trägheit der Brückenwaage der Bauart E	43

	Seite
25. Besonderheiten der Laufgewichtswaagen. Toter Arm des Laufgewichts. Nutzarm. Wahre Skale. Scheinbare Skale	44
26. Gleichgewicht und Trägheit der Einhebel-Laufgewichtswaage	45
27. Gleichgewicht und Trägheit der zusammengesetzten Laufgewichtswaagen	47
28. Gleichgewicht und Trägheit der Brückenwaage der Bauart C	48
II. Die Wägungsgleichungen unter der Annahme starrer Hebel	
29. Vorbemerkung	51
30. Die Wägungsgleichung der Einhebelwaage	51
31. Die Wägungsgleichungen der Zweihebel- und Dreihebelwaage	52
32. Die Wägungsgleichungen der unsymmetrischen Brückenwaagen (Bauart A und B)	52
33. Die Wägungsgleichungen der symmetrischen Brückenwaagen (Bauart E und D)	53
34. Die Wägungsgleichungen der Laufgewichtswaagen	54
III. Allgemeine Wägungsgleichungen mit Berücksichtigung der Biegung der Hebel	
35. Die Biegung der Hebel. Drehung und Senkung der Querschnitte	55
36. Einfluß der Biegung der Hebel auf die Länge der Hebelarme	58
37. Einfluß der Biegung der Hebel auf das Hebelverhältnis. Biegungs- fehlerkoeffizient	61
38. Voraussetzungen für die aufzustellenden allgemeinen Wägungsgleichungen	63
39. Allgemeine Wägungsgleichung der Einhebelwaage	63
40. Allgemeine Wägungsgleichungen der Zweihebel- und Dreihebelwaage	64
41. Allgemeine Wägungsgleichungen der unsymmetrischen Brückenwaagen (Bauart A und B)	66
42. Allgemeine Wägungsgleichungen der symmetrischen Brückenwaagen (Bauart E und D)	67
43. Allgemeine Wägungsgleichungen der Laufgewichtswaagen	68
IV. Sollwertgleichungen und Fehlergleichungen der Waagen	
44. Anzeige der Waage = Sollwert der Nutzlast. Fehler der Waage. Fehler der Nutzlast	69
45. Fehler des Hebelverhältnisses. Biegungsfehler. Biegungsfehlerzulage	71
46. Justierfehler. Justierfehlerzulage	72
47. Fehler der Einteilung bei Laufgewichtsskalen. Teilungsfehler. Teilungsfehlerzulage	73
48. Gesamtzulage. Zusammensetzung der Nutzlast	74
49. Sollwertgleichungen und Fehlergleichungen der Hebelketten mit Ge- wichtsschale (Einhebel-, Zweihebel-, Dreihebelwaage)	74
50. Sollwertgleichungen und Fehlergleichungen der unsymmetrischen Brückenwaagen (Bauart A und B)	76
51. Sollwert- und Fehlergleichungen der symmetrischen Brückenwaagen (Bauart E und D)	77
52. Sollwert- und Fehlergleichungen der Laufgewichtswaagen	78
53. Fehlerbild der Brückenwaage der Bauart D mit Gewichtsschale bei Mittenbelastung	79
a) Fehlertafel	79
b) Fehlerkurve. Fehler-Nullpunkte. Höhe- und Tiefpunkte der Kurve	81
54. Fehlerbild der Brückenwaage der Bauart D bei einseitiger Belastung. Fehlertafel	83
55. Fehlerkurven für veränderliche Größe, aber unveränderliche Lage der Last	86
56. Fehlerkurven für veränderliche Lage, aber unveränderliche Größe der Last	87

	Seite
57. Bestimmung des Biegungsfehlerkoeffizienten β_3 eines Lasthebels und der Differenz $\alpha'_3 - \alpha_3$ der Justierfehlerkoeffizienten der beiden Lasthebel	89
58. Gegenseitige Ausgleichung der Biegungsfehlerkoeffizienten der einzelnen Hebel	91

V. Einfluß der Biegung der Brücke auf das Hebelverhältnis

59. Änderung des Hebelverhältnisses auf zweifache Art möglich	93
60. Änderung des Hebelverhältnisses durch Drehung der Lastpfannen um die Lastschneiden	93
61. Änderung des Hebelverhältnisses durch auftretende Schubkräfte	94
62. Ausgleichung der Biegungsfehlerkoeffizienten der Hebel durch den der Brücke	101
63. Bestimmung der Biegungsfehlerkoeffizienten β_3 und β_b	102

VI. Verschiedene weitere Fehlerquellen. Nicht wagerechte Lage der Stützschnitten. Nichtparallelität der Schnitten

64. Einfluß nicht wagerechter Lage der Stützschnitten	103
65. Einfluß der Nichtparallelität der Schnitten	104

VII. Die Waage im Zustand des Schwingens. Schwingungsdauer

66. Schwingungsdauer der Einhebelwaage	105
67. Schwingungsdauer der Zweihebelwaage	106

VIII. Prüfung der Waage

68. Was an einer Waage zu prüfen ist	108
69. Prüfung der Unveränderlichkeit	109
70. Prüfung der Empfindlichkeit	110
71. Prüfung der Einteilung der Laufgewichtsskalen. Vorbetrachtung	113
72. Skalenprüfung durch Auswägen	116
a) Verschiedene Arten	116
b) Skalenprüfung durch Auswägen auf der Lastseite	117
c) Skalenprüfung durch Auswägen auf der Lastseite mit Abstimmung	120
d) Skalenprüfung durch Auswägen auf der Gewichtsseite	123
73. Skalenprüfung durch Längenmessung	126
a) Vorbetrachtung	126
b) Meßvorrichtung zum Prüfen der Skalen von Laufgewichtswaagebalken	129
a) Zweck und allgemeine Einrichtung	129
b) Die Meßuhr	130
c) Die Aufteilungsvorrichtung	133
d) Gebrauchsanweisung	135
74. Bestimmung der Hebelfehler. Allgemeine Formeln	137
75. Bestimmung der Hebelfehler mit reiner Normallast	140
76. Bestimmung der Hebelfehler mit gemischter Last, Tara- und Normallast	140
77. Zahlenbild einer Fehlerbestimmung nach dem Verfahren mit gemischter Last und Erläuterung	141
78. Erforderliche Genauigkeit der Bestimmung der Normalabschnitte	143
79. Zahlenbild einer Prüfung der Normalabschnitte nach dem Meßverfahren und einer solchen nach dem Wägeverfahren	144
80. Zwei Arten der Prüfung einer Waage in Stufen (Staffelverfahren)	145
81. Bestimmung der Justierfehlerdifferenz der Lasthebel einer Brückenwaage der Bauart D, sowie des gemeinsamen Biegungsfehlerkoeffizienten $\frac{1}{2} \beta_3 - \frac{2}{3} \beta_b$ der Lasthebel und der Brücke	148

IX. Justierung der Waage

	Seite
82. Verschiedene Möglichkeiten der Justierung	149
83. Herstellung von Hebeln mit einem von der Biegung unabhängigen Hebelverhältnis	150
84. Konzentrische Justierung.	153
85. Beziehung zwischen dem Justierfehler- und dem Biegefehlerkoeffizienten bei konzentrischer Justierung	154
86. Fehler-Nullpunkt bei konzentrischer Justierung.	155
87. Grenze der Justiermöglichkeit	155
88. Berechnung der für eine konzentrische Justierung erforderlichen Änderung des Fehlers der Höchstlast aus den bei der Prüfung der Waage beobachteten beiden Fehlern	156
89. Justierfähigkeit einer Waage	158
90. Verschiedene Arten der Justierung von Waagen. Justierung eines Hebelarmes. Justierung des Laufgewichts	159

Dritter Teil

Neigungswaagen

91. Wirkungsweise	162
92. Verschiedene Arten	162
93. Voraussetzungen.	163
94. Einfache Neigungswaage mit Lastschneide	164
a) Gleichgewicht.	164
b) Umfang, Einteilung der Skale. Neigungsbereich der Waage. Symmetrische Skale	165
c) Berechnung der Skale	166
d) Empfindlichkeit	168
95. Zusammengesetzte Neigungswaagen mit Lastschneide am Neigungshebel und Zugstange	170
a) Die drei gebräuchlichsten Bauarten	170
b) Verhältnis der Neigung des Lasthebels (ψ) zu der des Neigungshebels (φ). Verhältnis der Neigungsbereiche	171
c) Änderung der Richtung der Zugstange	173
d) Änderung der Hebelarme $l \sin(\lambda + \varphi)$ und $g_1 \sin(\gamma_1 - \varphi)$ infolge Richtungsänderung der Zugstange	174
e) Gleichgewicht	175
96. Justierung einer Neigungswaage mit symmetrischer Skale	179
97. Fehler, die sich an der Waage im Betriebe einstellen können, und ihre Beseitigung	181
98. Neigungswaagen mit Kurvenscheibe und Metallband. Allgemeine Kennzeichnung	185
99. Einhebel-Neigungswaage mit exzentrisch zur Stützscheibe gelagerter Kreiskurvenscheibe	185
100. Zusammengesetzte Neigungswaagen mit Kurvenscheibe und Metallband	192
a) Voraussetzungen	192
b) Gleichgewicht	193
c) Verhältnis der Neigung des Lasthebels (ψ) zu der des Neigungshebels (φ)	194
d) Richtungsänderung des Zugbandes	196
e) Einfluß der Anfangsstellung ψ_0 des Lasthebels auf die Einteilung der Skale. Berechnung von Skalen	198
Sachverzeichnis	201