




30865



Einrichtung und Aufgaben

der

im Weltkriegsjahr 1915

erbauten

208152

WETTERWARTEN

auf der

Wahnsdorfer Kuppe bei Dresden

und

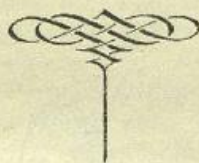
auf dem Fichtelberge

dargestellt von

dem Direktor der Sächsischen Landes-Wetterwarte zu Dresden

Professor Dr. Paul Schreiber.

Mit 64 Figuren und Bildern.



Dresden. Weihnachten 1918.

Selbstverlag der Sächsischen Landes-Wetterwarte. Druck von C. C. Meinhold & Söhne in Dresden.



Einnichtung und Aufgaben

im Wintersemester 1912

abgehalten

WETTERWARTEN

an der

Wahnsdorfer Kuppe bei Dresden

am

auf dem Fichtelberge

herausgegeben von

dem Direktor der Sächsischen Landes-Wetterwarte zu Dresden

Professor Dr. Paul Schreiber

Mit 64 Figuren und Tabellen



Dresden, Wintersemester 1912

Verlag des K. S. S. Meteorologischen Instituts, Berlin, Unter den Eichen 15

Das Jahr 1914

so schicksalsreich, inhaltsschwer und verhängnisvoll wie kaum eines seiner Vorgänger, hatte auch eine besondere Bedeutung für die Landes-Wetterwarte.

Bei seinem Beginn konnte ich mich am Ziele der Bestrebungen und Bemühungen langer Jahre nach Stätten der meteorologischen Forschung an geeigneter Stelle und in geeigneter Gestalt sehen. Es wurden für zwei Wetterwarten auf dem Fichtelberg und der Wahnsdorfer Kuppe die nötigen Mittel im Gesamtbetrage von rund 150 000 Mark bewilligt.

Ich habe wohl nicht nötig, allen den Männern, welche hierbei geholfen haben, meinen Dank noch besonders auszusprechen. Ich kann nun wohl auch hoffen, daß diejenigen, welche die Durchführung des Unternehmens auf dem Fichtelberg sehr erschwert hatten, sich mit den geschaffenen Einrichtungen werden ausgesöhnt haben. Trotz aller Kriegsnot konnten die Bauten beginnen und durchgeführt werden. Beide Häuser wurden im Jahre 1915 fertiggestellt. Mit Beginn des Jahres 1916 konnte der Fichtelberg seine Tätigkeit aufnehmen, am 1. August 1916 folgte Wahnsdorf. Im Mai 1916 begann ich mit der Einrichtung hier und im Mai 1918 wurde das vorliegende Werk beendet.

Mit Beginn des Jahres 1914 trat das meteorologische Beobachtungssystem des Königreichs Sachsen in das einundfünfzigste Jahr seiner Tätigkeit. Im Laufe des Jahres 1863 hatten Carl Bruhns in Leipzig und Carl Krutzsch in Tharandt die sächsischen meteorologischen Stationen: Gohrisch, Riesa, Leipzig, Dresden, Zwenkau, Wernsdorf, Bautzen, Zittau, Zwickau, Chemnitz, Königstein, Plauen, Hinterhermsdorf, Grillenburg, Freiberg, Elster, Annaberg, Rehefeld, Georgengrün, Reitzenhain und Oberwiesenthal eingerichtet. Es erscheint deshalb als voll begründet, wenn die bildlichen Darstellungen in diesem Werk mit der Wiedergabe des Bildes von Carl Bruhns beginnen, welches der Landes-Wetterwarte bei ihrer Jubelfeier von der Bruhns'schen Familie geschenkt worden war. Mir gereicht es aber zur herzlichsten Freude, auf diese Weise meinem verehrten Lehrer und langjährigen väterlichen Freund meine Dankbarkeit erweisen zu können.

Wenn ich auf die langen Jahre meines Lebens zurückblicke, so treten außer der Gestalt meines alten Vaters und besten Freundes die Gestalten von drei Männern immer klarer hervor, die für meinen ganzen Lebensgang von besonderer Bedeutung gewesen sind: Adolph F. Weinhold in Chemnitz, mein erster Lehrer in Physik, Kollege und Freund bis zum Lebensende, Carl Bruhns in Leipzig und Georg Neu-

mayer in Hamburg. Bruhns nahm sich meiner, des zwanzigjährigen jungen Mannes, während meiner Studienzeit an der polytechnischen Schule in Dresden (1867—1870) und der Universität Leipzig (1870 bis 1872) an. Während der akademischen Ferien habe ich bei ihm gearbeitet. Da saß ich zuerst 4 Wochen lang in Rückmarsdorf bei Leipzig täglich am Heliotropen und warf das Licht der Sonne den nunmehr auch dahingegangenen Männern Albrecht, Helmert und Löw zu. Ob das heute ein Studierender der Technischen Hochschule auch machen würde? Dann wurde ich Oberheliotropist und richtete die Stationen ein. Dann kamen astronomische Messungen auf dem Fichtelberg. 4 Wochen mußten wir in dem alten Turm hausen. Brutus Fleischmann, der spätere erste Wirt des Fichtelberghauses, war unser Faktotum und versorgte uns auch bei dem schlechtesten Wetter mit allen Bedürfnissen. Es erweckt in mir immer die schmerzlichsten Erinnerungen, wenn ich an das Ende dieses urwüchsigen Erzgebirglers mit allen von deren guten und weniger guten Seiten denken muß. Er hatte das alles nicht verdient. Für seine langjährigen unermüdlichen Beobachtungen muß ich ihm dankbar sein. Er war es auch, welcher das erprobte, was allen undenkbar erschien, daß man auf dem Berg den Winter über bleiben könne. Dann kamen die Höhenmessungen mit Aneroidbarometern. Fast drei Jahre, bis 1872, durchzog ich wochenlang das nördliche Grenzgebiet von Leipzig bis über Großenhain, in einem Kasten zwei Aneroide vor mir hertragend, und bestimmte die Höhen der Kirchen, Berge, Windmühlen usw. Während der Zeit meines Lehramtes in Chemnitz von 1872 an bis zu dem Tode Bruhns' im Jahre 1884 waren wir zusammen mit der Bearbeitung einer Klimatographie von Sachsen beschäftigt. Die umfangreichen Rechnungen konnten aber nicht verwertet werden.

In den folgenden Darlegungen sollen zuerst die Einrichtung der Wetterwarten und deren Lageverhältnisse eingehender behandelt werden. Daran schließt sich eine Besprechung der Aufgaben der Wetterwarten in einer möglichst allgemein verständlichen Form. Den Schluß bildet der Anhang, in dem die Theorie der Instrumente und Meßmethoden in mathematischer Behandlung gegeben wird, welcher also für einen größeren Leserkreis nicht bestimmt sein kann.

Das Jahr 1914

Das Jahr 1914 war ein Jahr der großen Ereignisse, das die Welt in einen Krieg verwickelte. Die Ereignisse des Jahres 1914 sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

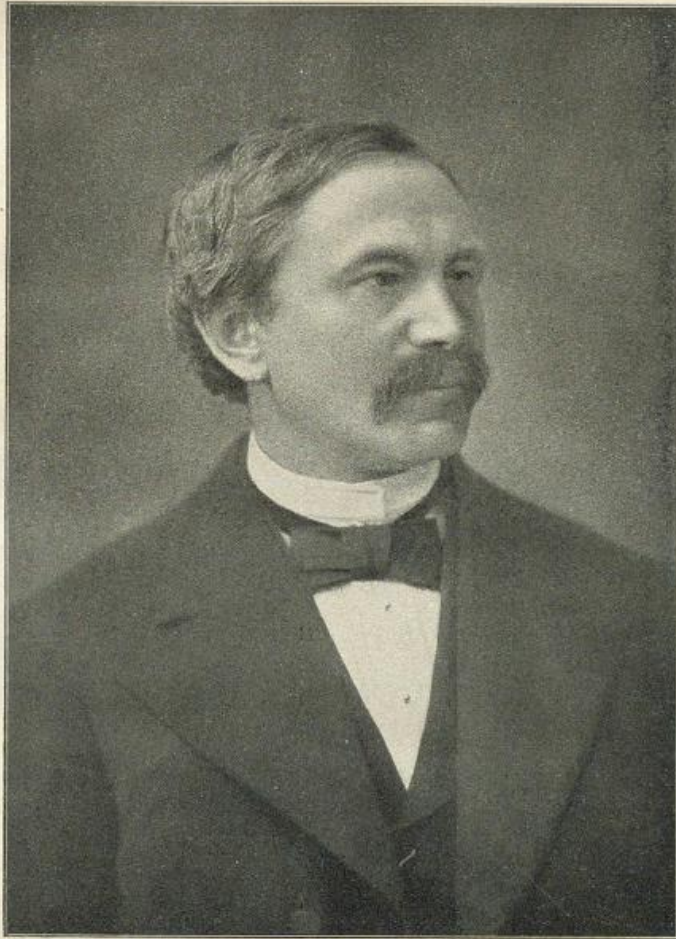
Datum	Ereignis
1. Januar	Neujahr
1. Februar	Beginn des Jahres
1. März	Beginn des Jahres
1. April	Beginn des Jahres
1. Mai	Beginn des Jahres
1. Juni	Beginn des Jahres
1. Juli	Beginn des Jahres
1. August	Beginn des Jahres
1. September	Beginn des Jahres
1. Oktober	Beginn des Jahres
1. November	Beginn des Jahres
1. Dezember	Beginn des Jahres
1. Januar	Neujahr

Inhaltsverzeichnis.

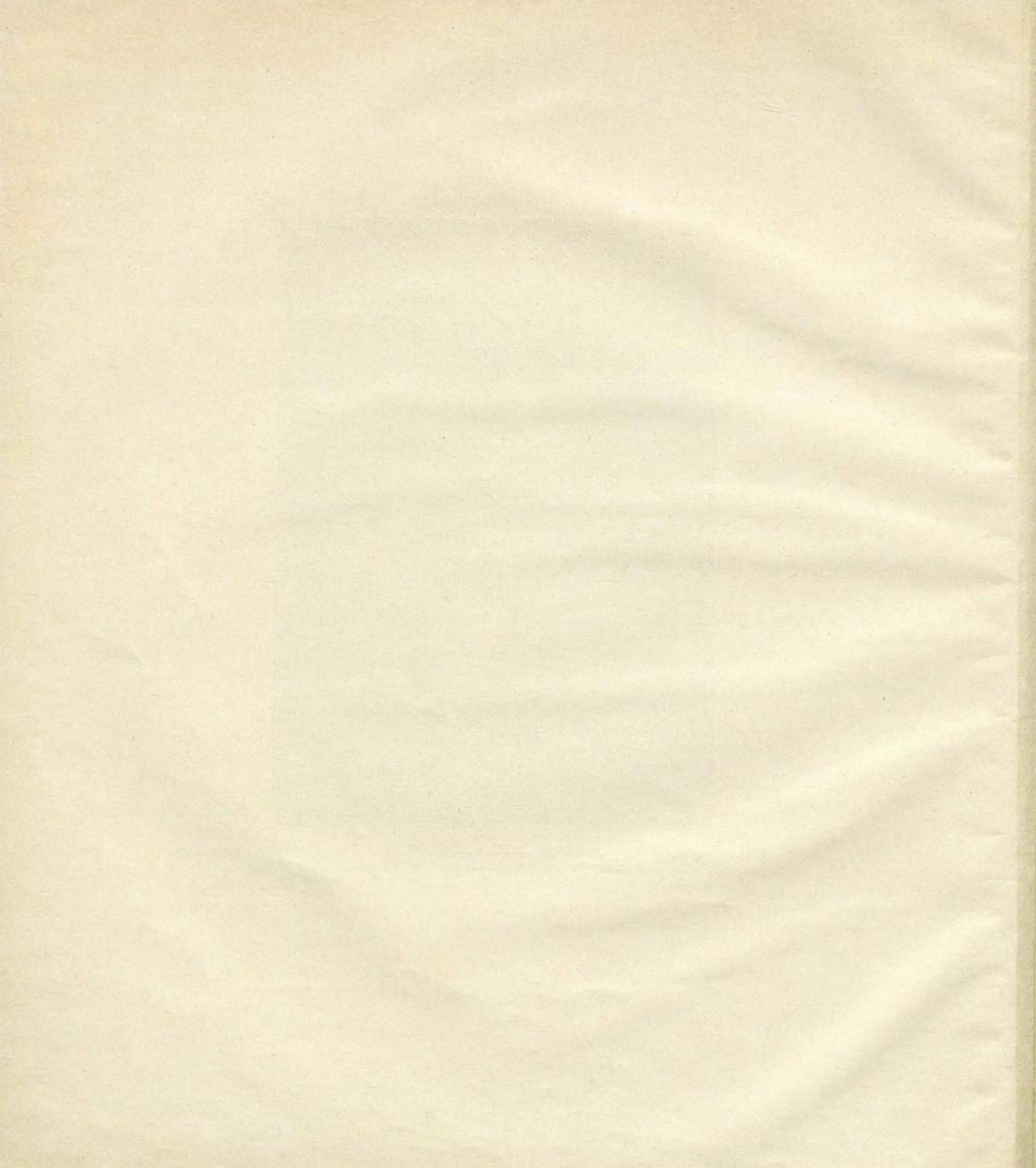
<p>Einleitung 3</p> <p>Lage und Einrichtung der Wetterwarte auf der Wahnsdorfer Kuppe 7</p> <p>Lage und Einrichtung der Wetterwarte auf dem Fichtelberg 11</p> <p>Die Aufgaben einer Wetterwarte und die Ausrüstung einer solchen mit Instrumenten</p> <p style="padding-left: 20px;">Übersicht der Aufgaben 13</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Bestimmung von Richtung und Stärke des Windes 14</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Messung des Luftdruckes 20</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Messung der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft 21</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Wassermessung im Brunnen und Speicher der Wasserleitung 24</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Regenmesser 25</p>	<p>Die Wagemanometer mit beweglicher Röhre zur Messung kleiner Druckunterschiede. Druckglockenmanometer.</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Grund- und Bewegungsgleichungen für beliebige Gestaltung der Glocke 48</p> <p style="padding-left: 20px;">Das Druckglockenmanometer als Windgeschwindigkeitsmesser. Die Bewegung ist proportional der Windgeschwindigkeit 49</p> <p style="padding-left: 20px;">Das Druckglockenmanometer als Winddruckmesser. Die Bewegung ist proportional dem Winddruck 50</p> <p style="padding-left: 40px;">1. Das Gegengewicht ist konstant</p> <p style="padding-left: 40px;">2. Das Gegengewicht ist veränderlich</p> <p style="padding-left: 40px;">3. Die bewegende Kraft</p> <p style="padding-left: 40px;">4. Berechnung eines Winddruckmessers, erster Entwurf</p> <p style="padding-left: 40px;">5. Berechnung eines Winddruckmessers, zweiter Entwurf.</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Gewichtswagemanometer 53</p> <p>Die Messung der Richtung und Geschwindigkeit des Wolkenzuges.</p> <p style="padding-left: 20px;">Ableitung des Beobachtungsverfahrens 55</p> <p style="padding-left: 20px;">Der Wolkenpiegel für rasch ziehende Wolken in der Umgebung des Zeniths 56</p> <p style="padding-left: 20px;">Der Wolkenpiegel für langsam ziehende Wolken 56</p> <p style="padding-left: 20px;">Das Wolkenachometer 57</p> <p>Die Wärmestrahlung der Sonne.</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Bestrahlung horizontaler ebener Flächen 58</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Bestrahlung geneigter ebener Flächen 58</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Abschwächung der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre</p> <p style="padding-left: 20px;">Ermittelung der Maße atmosphärischer Luft in einer Säule von 1 qm Querschnitt 60</p> <p style="padding-left: 20px;">Ermittelung des Gewichtes des in einer Luftsäule von 1 qm Querschnitt enthaltenen Wasserdampfes. Anwendung der Massengleichungen 60</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Solarkonstante und Temperatur der Sonne 62</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Instrumente zur Bestimmung der Wärmestrahlung 64</p> <p style="padding-left: 40px;">Das Angströmsche Kompensations-Pyrheliometer</p> <p style="padding-left: 40px;">Das Viollesche Aktinometer</p> <p style="padding-left: 40px;">Das Michelsonsche Bimetall-Aktinometer.</p> <p>Der Verlauf der Witterung in Sachsen in der Zeit vom 1. Juli 1913 bis Ende Juli 1918 und die Vegetationsvorgänge 75</p> <p>Verzeichnis der Schriften der Sächsischen Landes-Wetterwarte und ihrer Beamten 83</p> <p style="padding-left: 20px;">A. Die amtlichen Schriften.</p> <p style="padding-left: 20px;">B. Schriften des Direktors Dr. Paul Schreiber.</p> <p style="padding-left: 20px;">C. Schriften der anderen Beamten.</p>
<hr style="width: 20%; margin: 0 auto;"/> <p>Anhang.</p>	
<p>Einleitung. Wagemanometer und Wagebarometer 31</p> <p>Das Wagebarometer mit beweglichem Trog und Temperaturkompensation.</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Grund- und Bewegungsgleichungen 35</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Einwirkung der Temperaturänderung 36</p> <p style="padding-left: 20px;">Bewegende Kraft und Auflagegewichte 38</p> <p>Das Wagemanometer mit beweglichem Trog und Kompensation gegen die Schwankungen des Luftdruckes.</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Grund- und Bewegungsgleichungen 39</p> <p style="padding-left: 20px;">Durchführung eines Zahlenbeispiels 40</p> <p style="padding-left: 20px;">Die Auflagegewichte 41</p> <p style="padding-left: 20px;">Die bewegende Kraft 41</p> <p style="padding-left: 20px;">Das Wagemanometer als Luftthermometer 41</p> <p>Die Verwendung des Wagemanometers zur Messung von Wasserständen durch hydrostatische und aërostatistische Druckübertragung.</p> <p style="padding-left: 20px;">Allgemeines über die Instrumente 43</p> <p style="padding-left: 20px;">Die hydrostatische Druckübertragung 44</p> <p style="padding-left: 40px;">1. Die Grund- und Bewegungsgleichungen</p> <p style="padding-left: 40px;">2. Berechnung eines hydrostatischen Pegels für Wasserstandsänderungen bis zu 10 Metern.</p> <p style="padding-left: 20px;">Die aërostatistische Druckübertragung 45</p> <p style="padding-left: 40px;">1. Die Grund- und Bewegungsgleichungen</p> <p style="padding-left: 40px;">2. Berechnung eines Luftdruckpegels für Wasserstandsänderungen bis zu 10 Metern.</p>	

Inhaltsverzeichnis

1. Die Bedeutung der Arbeit für den Menschen	1
2. Die Entwicklung der Arbeit	2
3. Die Arbeit als Lebensbedingung	3
4. Die Arbeit als Lebensbedingung	4
5. Die Arbeit als Lebensbedingung	5
6. Die Arbeit als Lebensbedingung	6
7. Die Arbeit als Lebensbedingung	7
8. Die Arbeit als Lebensbedingung	8
9. Die Arbeit als Lebensbedingung	9
10. Die Arbeit als Lebensbedingung	10
11. Die Arbeit als Lebensbedingung	11
12. Die Arbeit als Lebensbedingung	12
13. Die Arbeit als Lebensbedingung	13
14. Die Arbeit als Lebensbedingung	14
15. Die Arbeit als Lebensbedingung	15
16. Die Arbeit als Lebensbedingung	16
17. Die Arbeit als Lebensbedingung	17
18. Die Arbeit als Lebensbedingung	18
19. Die Arbeit als Lebensbedingung	19
20. Die Arbeit als Lebensbedingung	20
21. Die Arbeit als Lebensbedingung	21
22. Die Arbeit als Lebensbedingung	22
23. Die Arbeit als Lebensbedingung	23
24. Die Arbeit als Lebensbedingung	24
25. Die Arbeit als Lebensbedingung	25
26. Die Arbeit als Lebensbedingung	26
27. Die Arbeit als Lebensbedingung	27
28. Die Arbeit als Lebensbedingung	28
29. Die Arbeit als Lebensbedingung	29
30. Die Arbeit als Lebensbedingung	30
31. Die Arbeit als Lebensbedingung	31
32. Die Arbeit als Lebensbedingung	32
33. Die Arbeit als Lebensbedingung	33
34. Die Arbeit als Lebensbedingung	34
35. Die Arbeit als Lebensbedingung	35
36. Die Arbeit als Lebensbedingung	36
37. Die Arbeit als Lebensbedingung	37
38. Die Arbeit als Lebensbedingung	38
39. Die Arbeit als Lebensbedingung	39
40. Die Arbeit als Lebensbedingung	40
41. Die Arbeit als Lebensbedingung	41
42. Die Arbeit als Lebensbedingung	42
43. Die Arbeit als Lebensbedingung	43
44. Die Arbeit als Lebensbedingung	44
45. Die Arbeit als Lebensbedingung	45
46. Die Arbeit als Lebensbedingung	46
47. Die Arbeit als Lebensbedingung	47
48. Die Arbeit als Lebensbedingung	48
49. Die Arbeit als Lebensbedingung	49
50. Die Arbeit als Lebensbedingung	50
51. Die Arbeit als Lebensbedingung	51
52. Die Arbeit als Lebensbedingung	52
53. Die Arbeit als Lebensbedingung	53
54. Die Arbeit als Lebensbedingung	54
55. Die Arbeit als Lebensbedingung	55
56. Die Arbeit als Lebensbedingung	56
57. Die Arbeit als Lebensbedingung	57
58. Die Arbeit als Lebensbedingung	58
59. Die Arbeit als Lebensbedingung	59
60. Die Arbeit als Lebensbedingung	60
61. Die Arbeit als Lebensbedingung	61
62. Die Arbeit als Lebensbedingung	62
63. Die Arbeit als Lebensbedingung	63
64. Die Arbeit als Lebensbedingung	64
65. Die Arbeit als Lebensbedingung	65
66. Die Arbeit als Lebensbedingung	66
67. Die Arbeit als Lebensbedingung	67
68. Die Arbeit als Lebensbedingung	68
69. Die Arbeit als Lebensbedingung	69
70. Die Arbeit als Lebensbedingung	70
71. Die Arbeit als Lebensbedingung	71
72. Die Arbeit als Lebensbedingung	72
73. Die Arbeit als Lebensbedingung	73
74. Die Arbeit als Lebensbedingung	74
75. Die Arbeit als Lebensbedingung	75
76. Die Arbeit als Lebensbedingung	76
77. Die Arbeit als Lebensbedingung	77
78. Die Arbeit als Lebensbedingung	78
79. Die Arbeit als Lebensbedingung	79
80. Die Arbeit als Lebensbedingung	80
81. Die Arbeit als Lebensbedingung	81
82. Die Arbeit als Lebensbedingung	82
83. Die Arbeit als Lebensbedingung	83
84. Die Arbeit als Lebensbedingung	84
85. Die Arbeit als Lebensbedingung	85
86. Die Arbeit als Lebensbedingung	86
87. Die Arbeit als Lebensbedingung	87
88. Die Arbeit als Lebensbedingung	88
89. Die Arbeit als Lebensbedingung	89
90. Die Arbeit als Lebensbedingung	90
91. Die Arbeit als Lebensbedingung	91
92. Die Arbeit als Lebensbedingung	92
93. Die Arbeit als Lebensbedingung	93
94. Die Arbeit als Lebensbedingung	94
95. Die Arbeit als Lebensbedingung	95
96. Die Arbeit als Lebensbedingung	96
97. Die Arbeit als Lebensbedingung	97
98. Die Arbeit als Lebensbedingung	98
99. Die Arbeit als Lebensbedingung	99
100. Die Arbeit als Lebensbedingung	100



Prof. Dr. Carl Bruhns
Direktor der Universitäts-Sternwarte in Leipzig.
begründete 1863 das sächsische meteorologische Beobachtungssystem.



Lage und Einrichtung der Wetterwarte auf der Wahnsdorfer Kuppe.

Wer mit dem Dampfschiff von Dresden elbabwärts fährt und zur Haltestelle Cotta gegenüber der Luftschiffhalle gekommen ist, vor dem breitet sich nach Nord die große ebene Fläche aus, in der die Ortschaften Radebeul, Löbnitz usw. sich hinziehen. Hinter diesen steigt das Gelände steil an und an dem Rand des Höhenzuges sieht man oben weithin die Wilhelmshöhe, das Spitzhaus und die Bismarcksäule. Ist man bei diesen angelangt, so steht man vor einer Hochfläche, die erst schwach nach Wahnsdorf zu einsinkt, dann aber wieder zu der etwa 500 Meter entfernten, eine Gradmessungssäule tragenden höchsten Wahnsdorfer Kuppe ansteigt und dann nach Reichenberg, Dippelsdorf und Moritzburg zu ziemlich rasch abfällt.

Bei der Gradmessungssäule, welche auf den beiden Lichtbildern 2 und 3 zu sehen ist, ist die Wetterwarte Wahnsdorf erbaut worden. Sie liegt unter

51° 7' 11.0" nördl. Breite, 31° 21' 30.5" östl. v. Ferro,
oder 0^h 4^m 8^s östl. v. Berlin oder 0^h 54^m 43^s östl. v. Greenwich.
Die Axe des Höhenbolzens an dieser Säule liegt 249.422 m ü. N. N.
Oberfläche der Säule 250.220 m ü. N. N.

Von den Diensträumen in Dresden (Große Meißner Straße 15) ist die Säule 8.1 km in der Richtung nach NW entfernt. Das ganze Grundstück ist aus Bild 3 zu ersehen. Angekauft wurde rund 1 ha, von dem 5428 qm eingezäunt worden sind, während der Rest vorläufig noch als Feld verpachtet ist. Die Einrichtung der eingezäunten Fläche stellt Fig. 1 eingehend dar. Das Haus ist genau

nach dem Meridian gerichtet. Im Nordflügel befinden sich die Wohnräume der Beamten, dann kommt der Turm mit dem Treppenhause und dann der Südflügel mit den Diensträumen. Vor dem Südflügel wurde eine große Planie in der Höhe 245.9 m ü. N. N. hergestellt. Westlich davon ist eine Johannisbeerpflanzung in der Höhe 244.6 m ü. N. N. Nördlich von dieser fällt die Planie nach dem Schnittgerinne am Kiesplatz ab. Die Planie ist als Instrumentenwiese bezeichnet worden, sie stellt einen Grasplatz mit den nötigen Wegen und Kiesflächen für die Instrumente vor. Östlich der Instrumentenwiese zieht sich das Gemüseland in 245.4 m ü. N. N. Höhe hin.

Der ganze Zaun ist mit niederen Nutzsträuchern umgeben. Nur im Norden und Nordosten und Nordwesten sind die höher wachsenden Sträucher von schwarzen Holunderbeeren, Haselnüssen und Hagebutten angepflanzt worden. Die steinige, nach der Gradmessungssäule stark ansteigende Fläche in der Nordwestecke wurde zunächst mit Knicholz besetzt. An den Südseiten wurde alles vermieden, was die Instrumentenwiese beschatten könnte, es soll dieselbe den ersten und letzten Sonnenstrahl eines Tages erhalten. Das Gemüseland mußte aber zum Schutz gegen den starken Wind mit einer Hecke aus niederen Beerenobststräuchern umgeben werden.

Vor der Südfront stehen die Thermometerhütte (T), die Regenmessergrube (R), der Brunnen mit dem Motorschrot (B) und ein Holzhaus für die luftelektrischen Messungen usw. (L). Von den

drei Kellerräumen des Südflügels wurden nach dem Brunnen und der Thermometerhütte Kabel zur elektrischen Licht- und Kraftversorgung gelegt. Dann mußten frostfrei zwei Rohrleitungen nach der Regenmessergrube, eine Rohrleitung nach dem Brunnendruckluftpegel und eine Gasleitung zum Heizen der Regenmessergrube und des Motorschrotes verlegt werden. In Fig. 1 sind diese Draht- und Rohrleitungen durch punktierte Linien angegeben worden. Da Bleirohr knapp und teuer geworden war, besteht der größte Teil der Rohrleitung aus Mannesmanngasröhren, welche erst zusammengesraubt und dann gut verlötet wurden. Die Röhren wurden dann vor dem Zuschütten der Gräben zwischen Streifen aus Dachpappe gelegt, um sie möglichst vor Nässe und sonstigen schädlichen Einwirkungen zu schützen. In der Nordostecke ist dann noch die zunächst nur geplante Ballonhalle eingezeichnet worden. Diese soll zum Füllen und Aufsteigenlassen von Ballonen bis zu 2 m Durchmesser dienen.

Die Einrichtung des Gebäudes ist aus den Grundrissen in Fig. 2 zu ersehen. Im Keller- geschoß ist 8 die Waschküche und in 4 steht

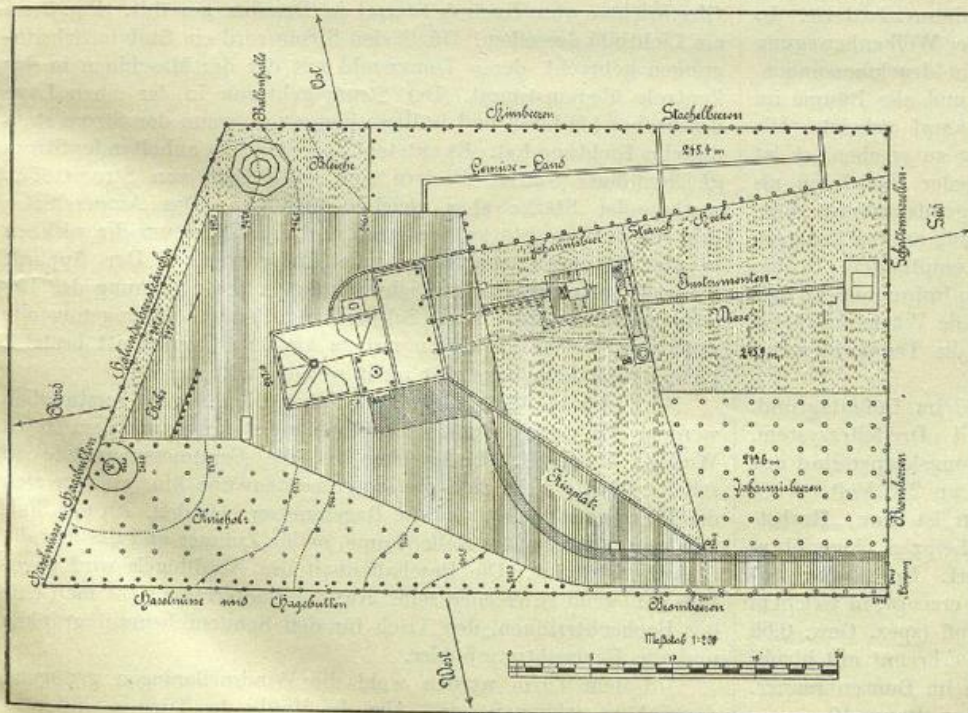


Fig. 1

der Kessel der Niederdruck-Dampfheizung. Die Räume im Südflügel 10 bis 12 sind für Instrumente bestimmt. In 11 stehen schon die Registrierapparate für den Regen und die Wasserstände im Brunnen und Wasserspeicher, der Werk Tisch und der Blasebalg zum Gasgebläse. 10 muß zunächst zur Aufbewahrung von Kartoffeln und den sonstigen Gartenerzeugnissen dienen und 12, welches später das chemische Laboratorium werden soll, muß jetzt zu allen möglichen Zwecken verwendet werden. Auch die Instrumentenwiese ist jetzt ein Kartoffel-, Rüben- und Krautfeld.

Im Erdgeschoß bilden die Räume 14 bis 20 die Wohnung des Hausverwalters. 18 ist die Küche und 20 der Abort. Die Küche und die Wohnzimmer 14 bis 16 sind nicht in die Zentralheizung einbezogen worden, sie haben Zimmeröfen für Kohlen oder Brikette. Durch 15 gehen allerdings die Dampfrohren. Im Vorsaal 17 steht ein Heizkörper der Zentralheizung. Die Räume 23 und 24 sind als Arbeits- und Wohnzimmer für den Direktor und 25 für einen Assistenten bei vorübergehendem zeitweisem Aufenthalt bestimmt. Die Räume 28, 29 und 31 im Obergeschoß sind Schlafzimmer für drei Beobachter. Es ist vorausgesetzt worden, daß diese ihren ständigen Wohnort in Dresden behalten und nur auf die Dauer von Wochen zur Dienstleistung in Wahnsdorf abgeordnet werden. Namentlich wurde bei dieser Einrichtung die Einführung ununterbrochener Beobachtungen auch während der Nacht geplant.

Die Räume 36 bis 39 im Obergeschoß sind die eigentlichen Dienstzimmer. In 36 befindet sich der Fernsprecher, in 39 sind der Barograph und der Windregistrierapparat aufgestellt worden. Arbeitsplätze sind für fünf Personen vorhanden. Im Turmraum 40 befindet sich das Stationsbarometer und die Akkumulatorenbatterie. In Nr. 41 des Turmes finden die Beobachtungen der Wolkenbewegung und der Sonnenstrahlung statt und in 42 die Winddruckmessungen.

Die Räume im Erdgeschoß von Nr. 22 an und alle Räume im Turm und dem Obergeschoß werden mit Dampf geheizt. Die Stellung der Heizkörper ist aus der Zeichnung zu ersehen, es ist hervorzuheben, daß die Anordnung sich in jeder Beziehung als zweckmäßig und vorsorglich erwiesen hat. Nirgends nehmen diese Körper nutzbare Wandfläche weg. Die Aufstellung an den Fenstern wird von allen, die daran sitzen, sehr dankbar empfunden. In den Kellerräumen 10 bis 12 ziehen sich die Dampfrohre nur an der Decke hin, es hat aber die von diesen ausgehende Wärme auch bei dem strengsten Frost vollständig ausgereicht, die Temperatur hat sich um $+10^{\circ}$ herum dauernd erhalten.

Die elektrische Energie liefert die Zentrale im Lößnitzgrund. Der Strom ist Einphasen-Wechselstrom mit Dreileitersystem. Die Spannung ist 2×120 Volt. Die Beleuchtungskörper sind nur an 120 Volt geschaltet, der Arbeitsstrom aber an 240 Volt.

Für Laboratoriums- und Werkstattarbeiten ist eine „Herbst-Luftgas“-Anlage von Franz Hugershoff in Leipzig eingerichtet worden, welche in 1 Stunde 3 cbm Gas liefert. Durch eine mit Gewicht betriebene Gasuhr wird ein Luftstrom erzeugt, in welchem ein Gasolin genannter leichter Kohlenwasserstoff (spez. Gew. 0.65 bis 0.68) verdampft wird. Dieses Gasmisch verbrennt mit blauer Flamme, wie das Gemisch Luft und Leuchtgas im Bunsenbrenner. Der Apparat steht in einem Anbau links von dem Raum 10.

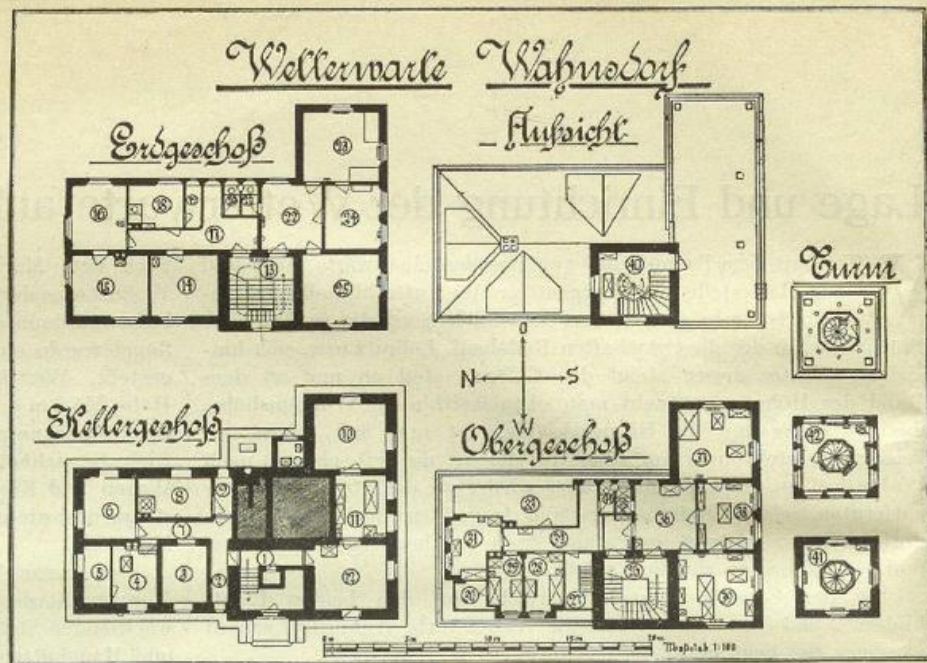


Fig. 2

Zur Wasserversorgung wurde ein 15 m tiefer Brunnen gegraben. Das Wasser wird durch ein elektrisch betriebenes Pumpwerk nach einem zirka 120 l fassenden Speicher in der Turmhaube gehoben und kann von hier aus nach allen Teilen des Hauses geleitet werden. Der Motor schaltet sich nach dem System Wolfs-Apparatebau in Schweinsburg an der Pleiße selbsttätig ein und aus.

Zum Laden der Akkumulatoren muß der Wechselstrom in Gleichstrom verwandelt werden. Dazu hat man jetzt verschiedene Vorrichtungen. In Wahnsdorf wurde wie in Dresden der Relais-Gleichrichter von Koch & Sterzel in Dresden gewählt. Fig. 3 ist ein Lichtbild desselben. Durch den Strom wird ein Stab in Schwingungen gebracht, deren Tourenzahl mit der der Maschinen in der Zentrale übereinstimmt. Der Strom geht nur in der einen Lage des Stabes hindurch und in diese kommt er, wenn der Strom stets dieselbe Richtung hat. Es entsteht also nicht ein anhaltender Strom gleichmäßiger Stärke, sondern eine große Zahl von Stromstößen wechselnder Stärke aber gleicher Richtung. Das Ampèremeter gibt die mittlere Stärke richtig an und der Zähler nur die wirklich in die Akkumulatoren eintretende Energiemenge. Der Apparat hat sich trotz der starken Schwankung in der Spannung des Urstromes gut bewährt. Diese Schwankung ist durch die ungenügende Zuleitung, welche aus Eisen mit zu kleinem Querschnitt besteht, bedingt und kann zunächst nicht weggebracht werden.

Nach diesen Mitteilungen wird das Bild 2 voll verständlich werden. Auf der Johannisbeeranpflanzung stehe ich mit dem Herrn Walther Meinhold. Links oben ist die Gradmessungssäule zu sehen. Rechts zieht sich die Instrumentenwiese hin, auf der sich die Thermometerhütte und die Regenmesser befinden. An der Südfront erkennt man die Kellerräume, meine Zimmer und darüber die drei Diensträume. Die Beschaffenheit des Nordflügels wird ebenfalls genügend zu ersehen sein. Auf der Südterrasse sieht man eine der Beobachterinnen, den Tisch für den Sonnenscheinautographen und die Beobachtungspfeiler.

Auf dem Turm werden wohl die Windmeßanlagen genügend deutlich zu erkennen sein. Um die Haube des Turmes sind acht

Gasröhren angeordnet worden. Diese gehen durch die Decke des oberen Turmzimmers hindurch und sind oben unter sich und mit der Turmhaube in sehr feste Verbindung gebracht worden. Durch die Oströhre geht die Stange der Windfahne, wie dies später eingehender beschrieben werden wird. In der Weströhre wurde die Stange befestigt, welche die drehbare Stauplatte trägt, in den Süd- und Nordröhren aber die Stangen, auf denen die Anemometer von Fueß, und Kühne sich befinden, und in den anderen nach NW, NO SO und SW endlich die festen Stauplatten. Auch diese Einrichtungen werden später eingehend behandelt werden. Die Höhenlagen über Normal Null stellen sich folgendermaßen:

das Anemometer Fueß	277.0 m,
„ „ Kühne	274.0 „
die drehbare Stauplatte	274.0 „
„ Windfahne	273.0 „
„ festen Stauplatten	272.0 „
„ oberste Auftrittsfläche des Turmes	270.0 „
„ zweite Auftrittsfläche des Turmes	266.9 „
der Fußboden des obersten Turmzimmers	263.2 „
„ „ „ zweiten „	259.4 „
„ „ „ der Terrasse	255.9 „
„ „ „ Dienstzimmer	252.0 „
„ „ „ vor dem Südflügel	245.9 „
die Sohle des Brunnens	231.2 „

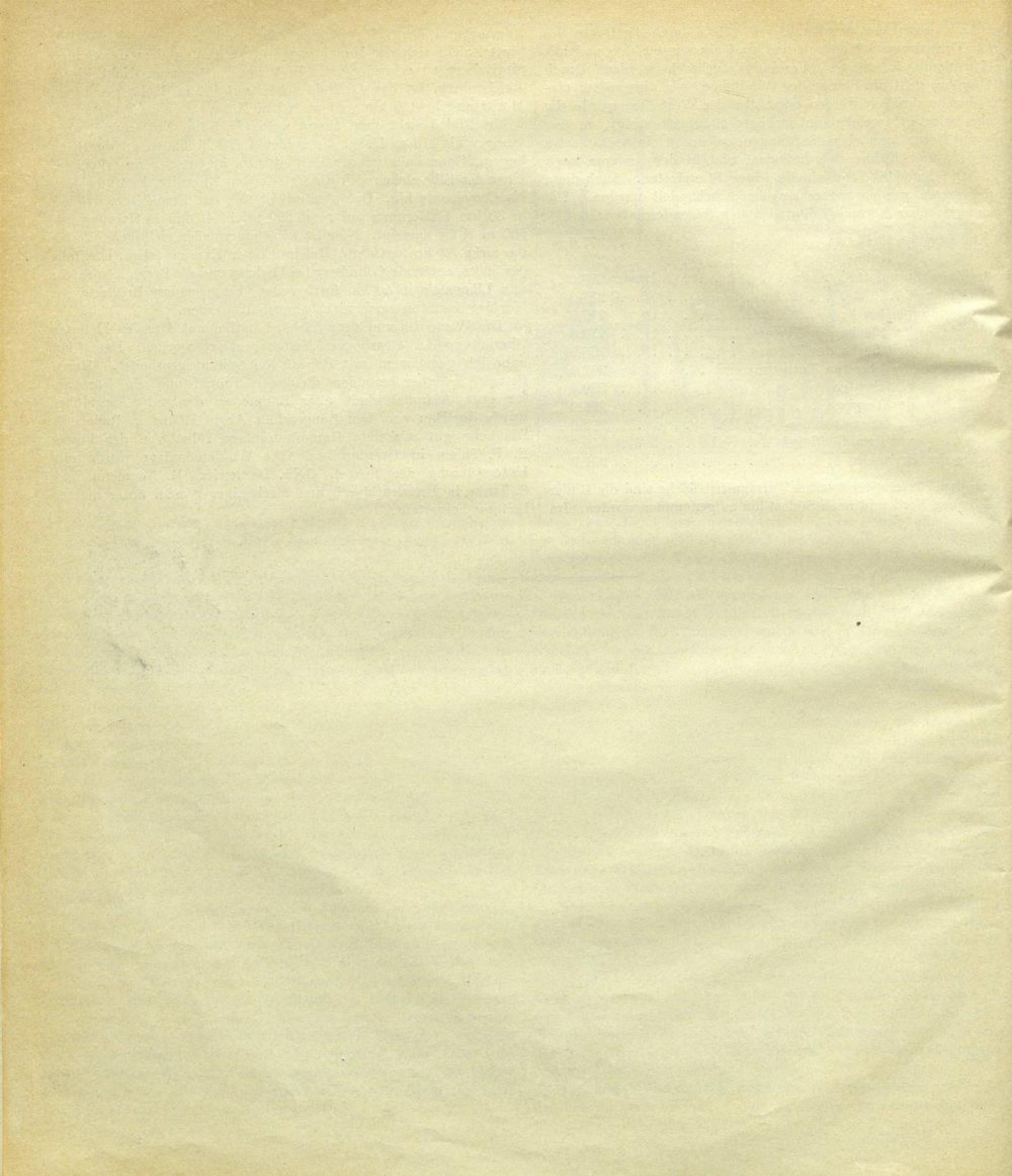
Von den Pfeilern der zweiten Turmauftrittsfläche sind die Bilder 4 und 5 nach Nord und nach Südost hin aufgenommen worden. Im

Vordergrund des Bildes 4 liegt das Dorf Reichenberg. Weiter hinten zieht sich der Moritzburger Forst hin, in dem das Schloß Moritzburg zu erkennen ist. In 2 km Entfernung, dicht hinter Reichenberg, ist das Gelände schon auf 192 m Höhe gesunken. Moritzburg liegt 5 km weit in 169 m Höhe.

In Bild 5 sieht man zuerst unten in 5 km Entfernung, aber weniger als 110 m Höhe, die beiden Luftschiffhallen an der Elbe liegen. Ganz links ist der Rathausturm in Dresden zu erkennen. Über der Elbe ziehen sich die Ortschaften Briesnitz, Kemnitz usw. bis Cossebaude hin. Dahinter erhebt sich das Erzgebirge, welches in 30 km Entfernung auf rund 600 m, in 40 km Entfernung auf 800 m Höhe ansteigt. Klar ist bei einigermaßen sichtigem Wetter die zirka 32 km entfernte Halsbrückener Esse zu sehen, ebenfalls der 50 km entfernte Collmberg bei Oschatz und die Berge Königstein und Lilienstein in 40 km Entfernung. Eingehendere Erörterungen hierüber konnten noch nicht angestellt werden.

Die Warte ist von dem Sächs. Landbauamt Dresden II unter Oberleitung des Oberbaurat Hempel erbaut worden. Den Plan habe ich gemeinsam mit Baurat Peitzsch ausgearbeitet. Herrn Peitzsch ist aber besonders die innere Einrichtung, die Fürsorge für gute Ausnutzbarkeit aller Räume zu danken. Ausgeführt wurde der Bau von dem Baugeschäft Alwin Höhne in Radebeul. Die sehr gut wirkende Dampfheizanlage rührt von der Firma E. F. Thiers in Dresden her. Die Windmeßanlage wurde mit Unterstützung der Firmen Gebr. Barnewitz, R. Neumann und C. Janke in Dresden durch den Mechaniker Windel unter meiner Leitung hergestellt.





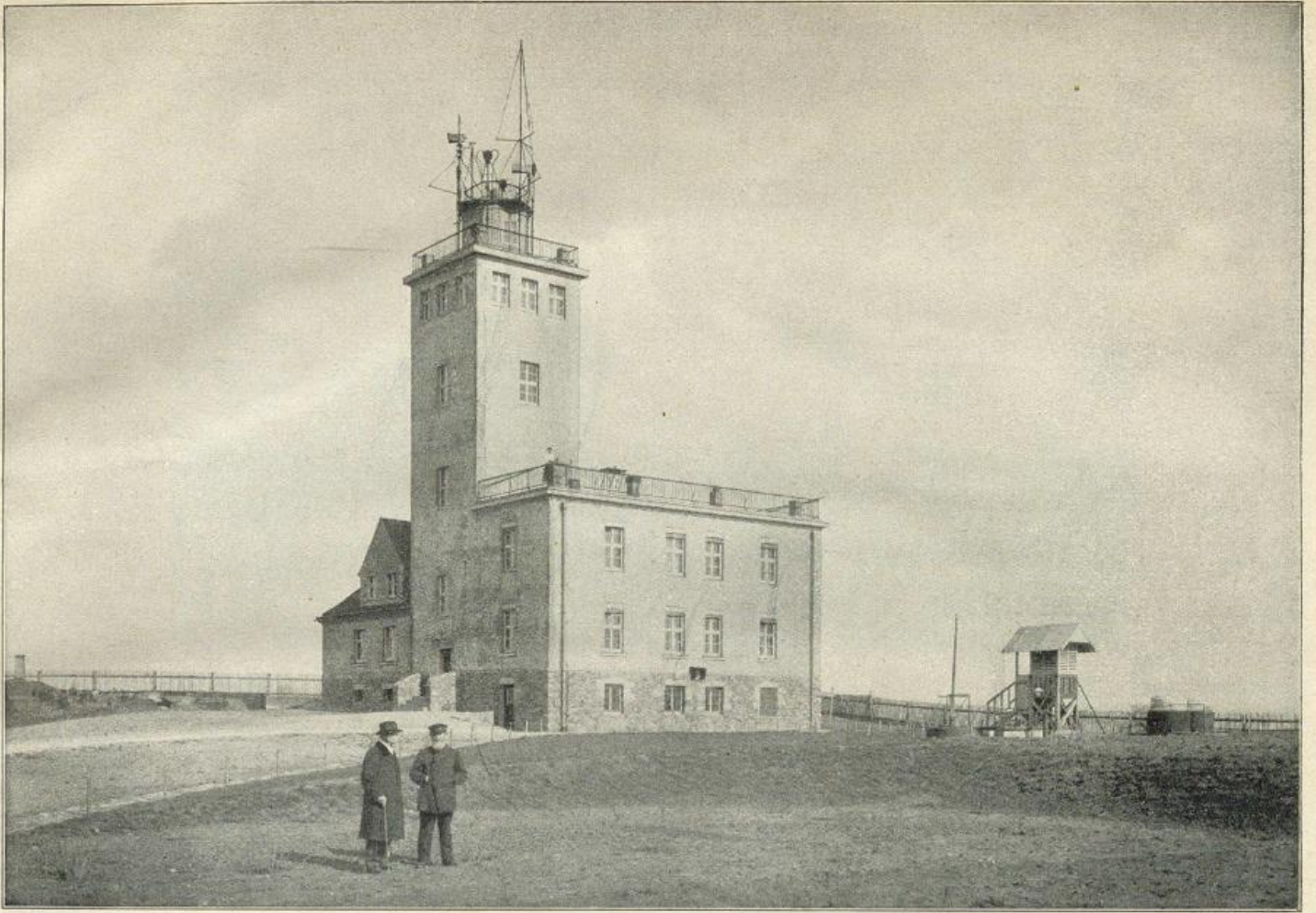


Bild 2

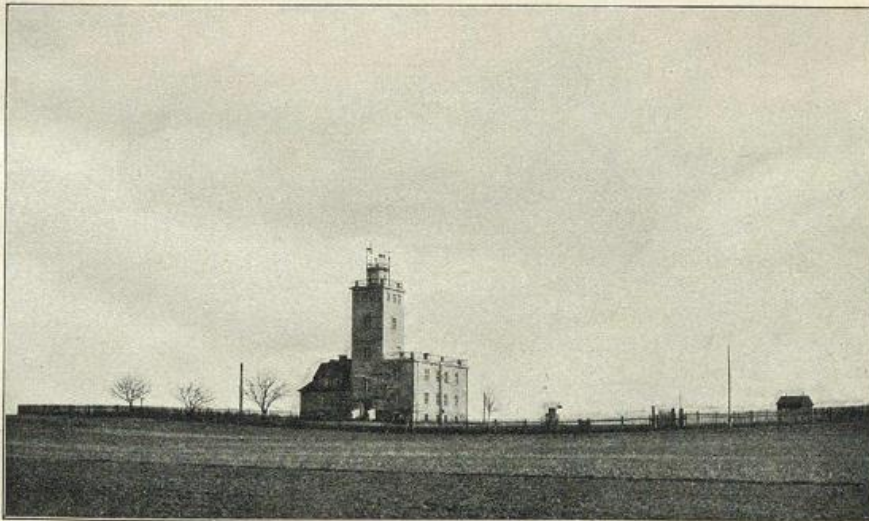


Bild 3



Bild 4

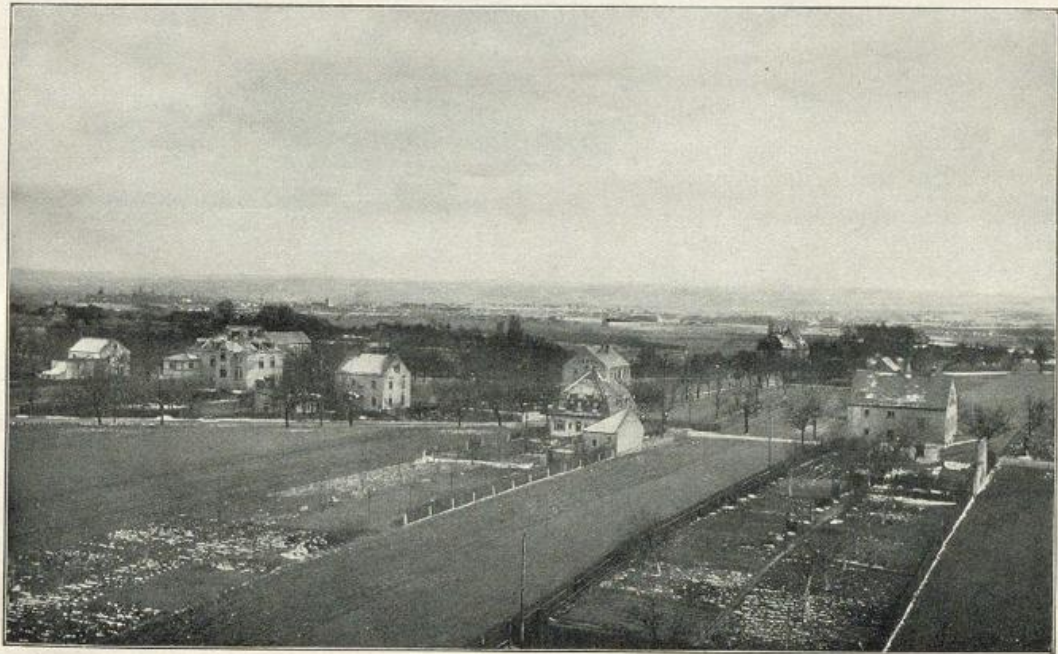


Bild 5

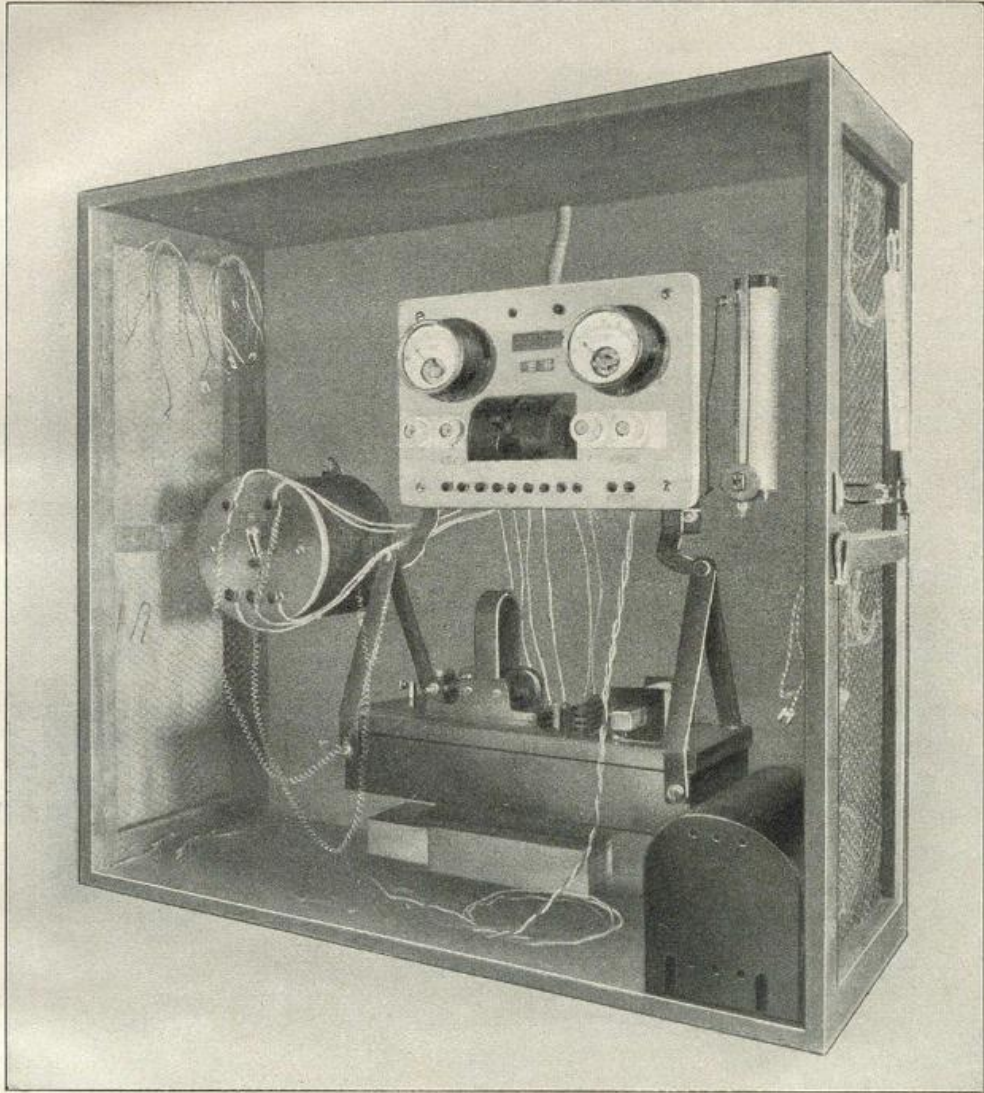
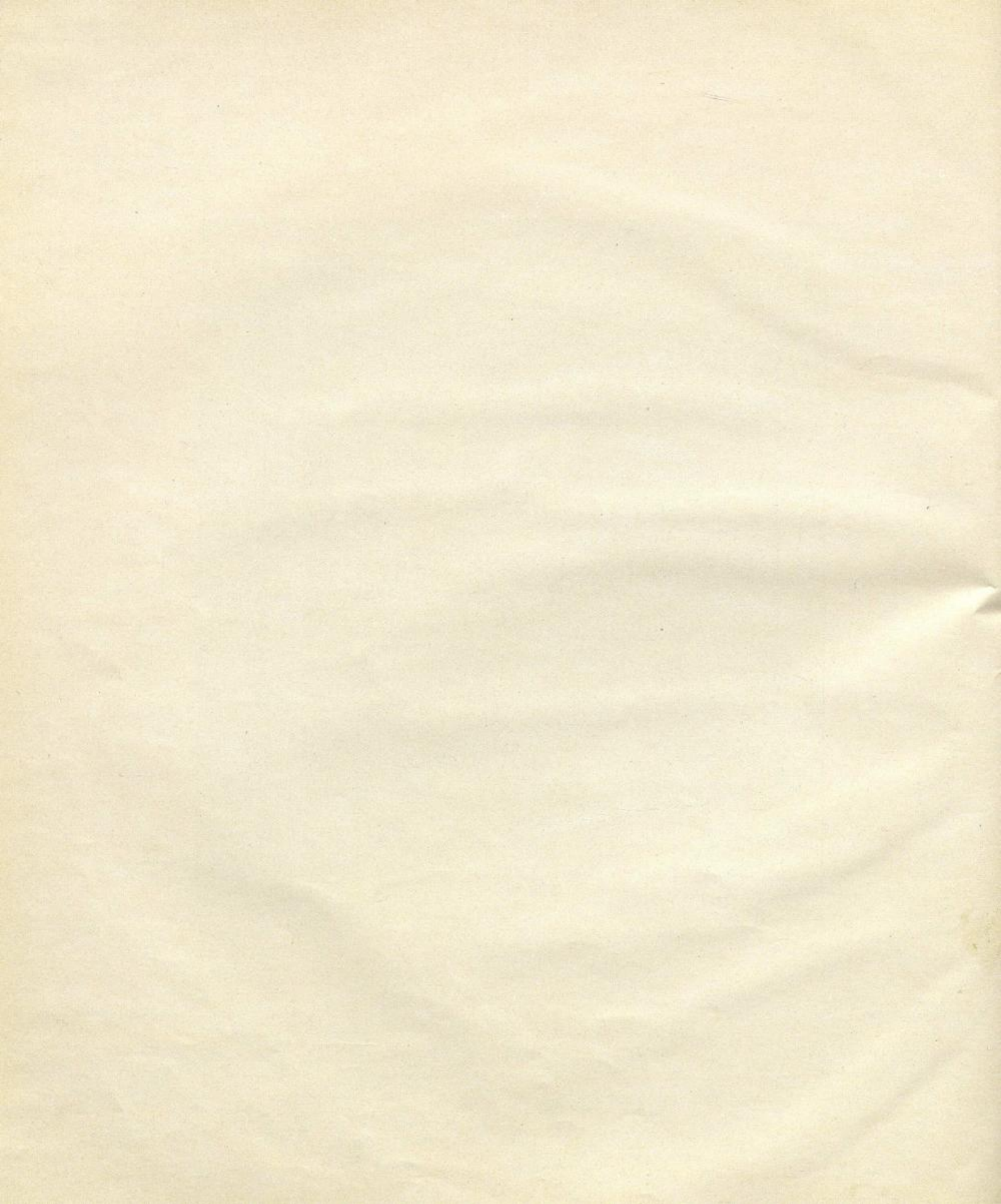


Fig. 3



Lage und Einrichtung der Wetterwarte auf dem Fichtelberg.

Der 1215 m hohe Fichtelberg liegt 94 km von Wahnsdorf in der Richtung S 33° W entfernt. Er fällt nach Nord, Ost und Süd ziemlich steil bis zu Höhen unter 900 m ab. Von Westen gesehen erscheint er als ein 200 m hoher, auf das etwa 1000 m hohe Hochplateau aufgesetzter Wall. Dieser Wall trägt zwei Gipfel, den vorderen oder großen (nördlichen) und den hinteren oder kleinen (südlichen) Fichtelberg. Im Süden liegt eine tiefe Schlucht (der Zechengrund) und von dieser an erhebt sich das Gelände als ein großer Wall nach dem den Fichtelberg etwas überragenden böhmischen Keilberg, welcher aber keine eigentliche Gipfel-lage hat, sondern die höchste Stelle des Gebirgskammes darstellt. Weiter nach Süden fällt das Gelände sehr steil nach dem Egertal hin ab.

Wie der Berg im Winter aussieht, zeigt Bild 6, welches von Franz Landgraf, Kunst-anstalt in Zwickau i.S., aufgenommen worden ist. Der Fahrweg kommt von dem nach Südwest zu gelegenen „Neuen Haus“ an der Landstraße von Oberwiesenthal nach Gottesgab in Böhmen. Man sieht also die Südwestfront des großen Unterkunfts-hauses und links davon die genau im Meridian liegende Wetter-warte. Der Vordergrund des Bildes 6 ist ungefähr die Einsenkung zwischen den erwähnten Gipfeln. Die Wetterwarte stellt das Bild 7 nach einer Aufnahme des Photographen A. Meiche in Annaberg vor. Man wird sofort sehen, daß derselbe Grundgedanke wie in Wahnsdorf durchgeführt worden ist. Wir haben einen Nordflügel mit den Wohnräumen, dann den Turm und dann den Südflügel mit den Arbeitsräumen und der darüber befindlichen Terrasse, welche vom Turm aus betreten werden kann. Wir haben dann die nach Süd liegende Thermometerhütte. Die Witterungsverhältnisse auf dem Berg erforderten aber, daß der Jalousienkasten, in dem die Thermometer sind, noch eine Umhüllung zum Schutz gegen Schnee und Eis erhielt. Dann mußte

für den Beobachter ein verdeckter Gang von den Diensträumen aus hergestellt werden.

An die Terrasse wurden nach Ost und West Schächte angebaut, welche ebenfalls von den Diensträumen zugänglich sind und in welche Regen und Schnee zum Messen einfallen können. Ein dritter Regen-messer der gewöhnlichen Art steht dann noch im Walde.

In dem obersten Turmzimmer finden auch hier die Messungen des Winddruckes statt. Hierzu sind um die Turmhaube acht feste

Stauplatten angeordnet. Von diesen führen die Rohr-leitungen durch die Decke nach dem Turmzimmer. Die Windfahne und andere Instru-mente konnten noch nicht aufgestellt werden, sie werden wahrscheinlich nur während des Som-mers im Gang erhalten werden können.

Aus den Grund-rißen in Fig. 4 er-geben sich die fol-genden Einrich-tungen. In dem Raum 1b des Kellers steht eine Pumpe mit elek-trischem selbst-tätigem Antrieb,

welche das Wasser aus dem Sammelbehälter des Unterkunfts-hauses nimmt und nach dem Speicher im Turm befördert. Von diesem kann es dann den einzelnen Teilen des Hauses zugeführt werden. Dem Unterkunfts-haus wird das Wasser mittels eines hydraulischen Widders aus der Tiefe zugeführt. 2 ist das Waschhaus und in diesem steht auch der Heizkessel für die Zentral-Warmwasserhei-zung. 1a, 3 und 4 sind Kellerräume. 5 und 5a sind Abstell-räume. Im Erdgeschoß bilden 6, 7 und 9 die Wohnung des Haus-warts. 9 ist eine Küchenwohnstube mit Kochherd, 6 und 7 sind mit der Zentralheizung verbundene Kammern. Raum 8 ist das mit einem Zimmerofen versehene Wohn- und Schlafzimmer des Beobachters. 12 ist der Vorraum, in welchem das Barometer auf-gehängt ist. 10 und 15 sind die Diensträume, in 15 ist noch ein Zimmerofen neben den Heizkörpern der Zentralheizung ein-gestellt worden. 11 und 16 sind die bereits erwähnten Schächte,

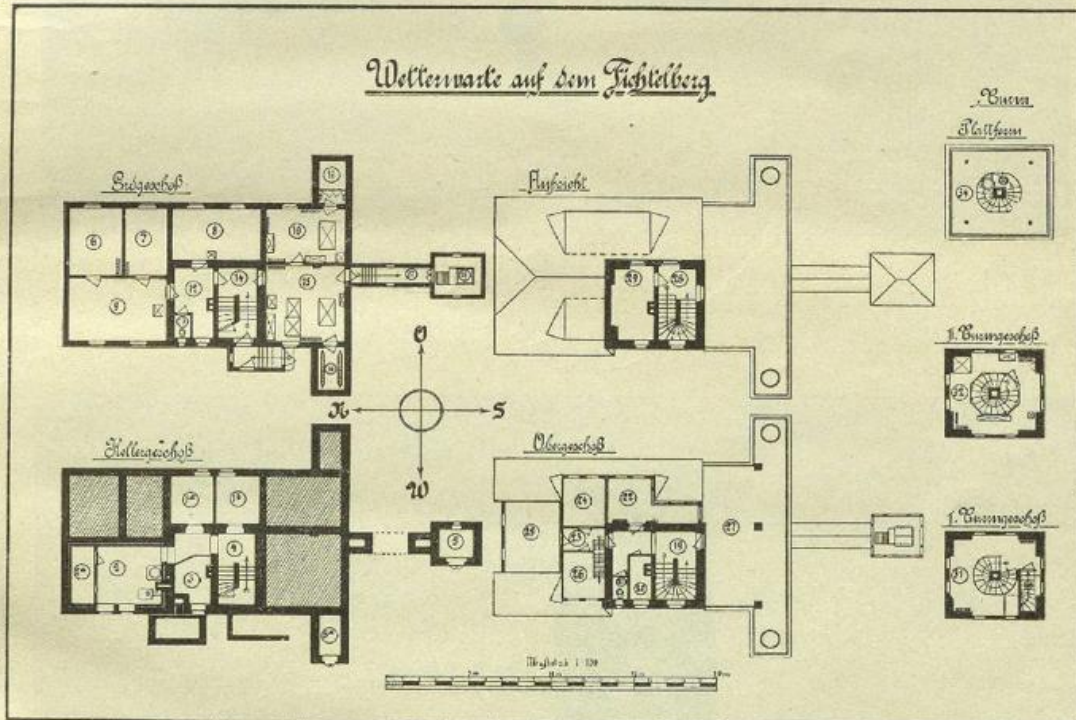


Fig. 4

in welche Regen und Schnee zur Messung fallen. Von 15 führt der verdeckte Gang 17 nach der Thermometerhütte 18. Im Obergeschoß ist 22 ein Gastzimmer, welches an die Zentralheizung angeschlossen ist, aber noch einen Zimmerofen hat. 20 ist ein kleiner Dienstraum, 24 bis 26 sind Bodenkammern, die aber nicht an die Zentralheizung angeschlossen worden sind.

Von dem Treppenraum 19 führt eine Tür nach der Terrasse 27, an deren Ost- und Westseite die Regenauffangevorrichtungen ersichtlich sind. Im Turm ist 29 ein an die Zentralheizung angeschlossener Dienstraum und ebensolche sind die Räume 31 und 32

darüber. Die elektrische Energie (Gleichstrom) liefert die Zentrale in Unterwiesenthal.

Die Wetterwarte arbeitet jetzt nur als Station II. Ordnung, wenn auch Barograph, Thermograph und Hygrograph aufgestellt und in Tätigkeit sind. Die volle Einrichtung kann erst nach Eintritt geordneter Verhältnisse erfolgen.

Den Plan habe ich gemeinsam mit Baurat Gelbrich in Chemnitz entworfen, leider konnte aber die erste schöne Planung nicht ausgeführt werden. Die Ausführung des Baues erfolgte durch das Baugeschäft von Ernst Scharschmidt in Wolkenstein.

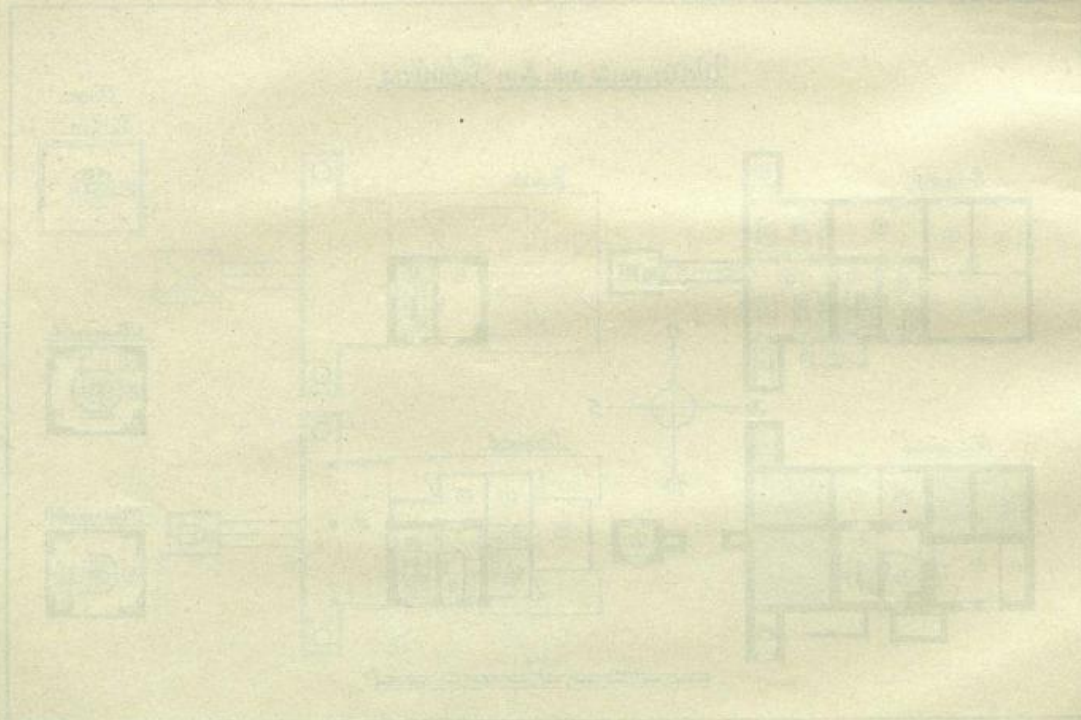




Bild 6

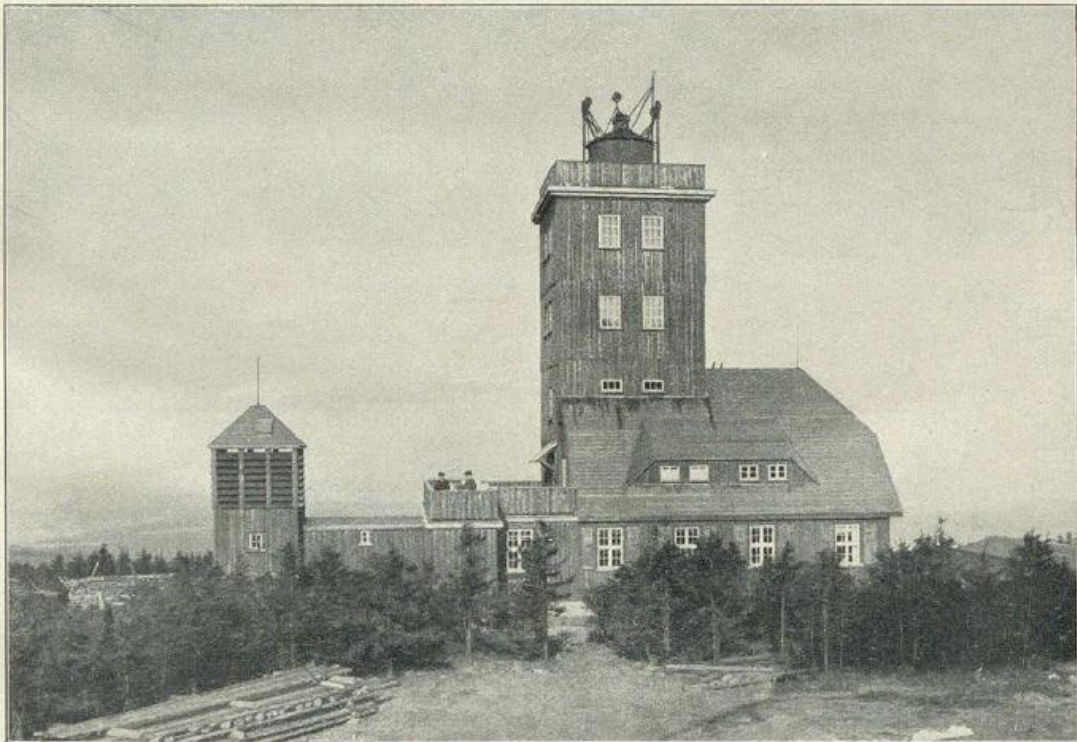
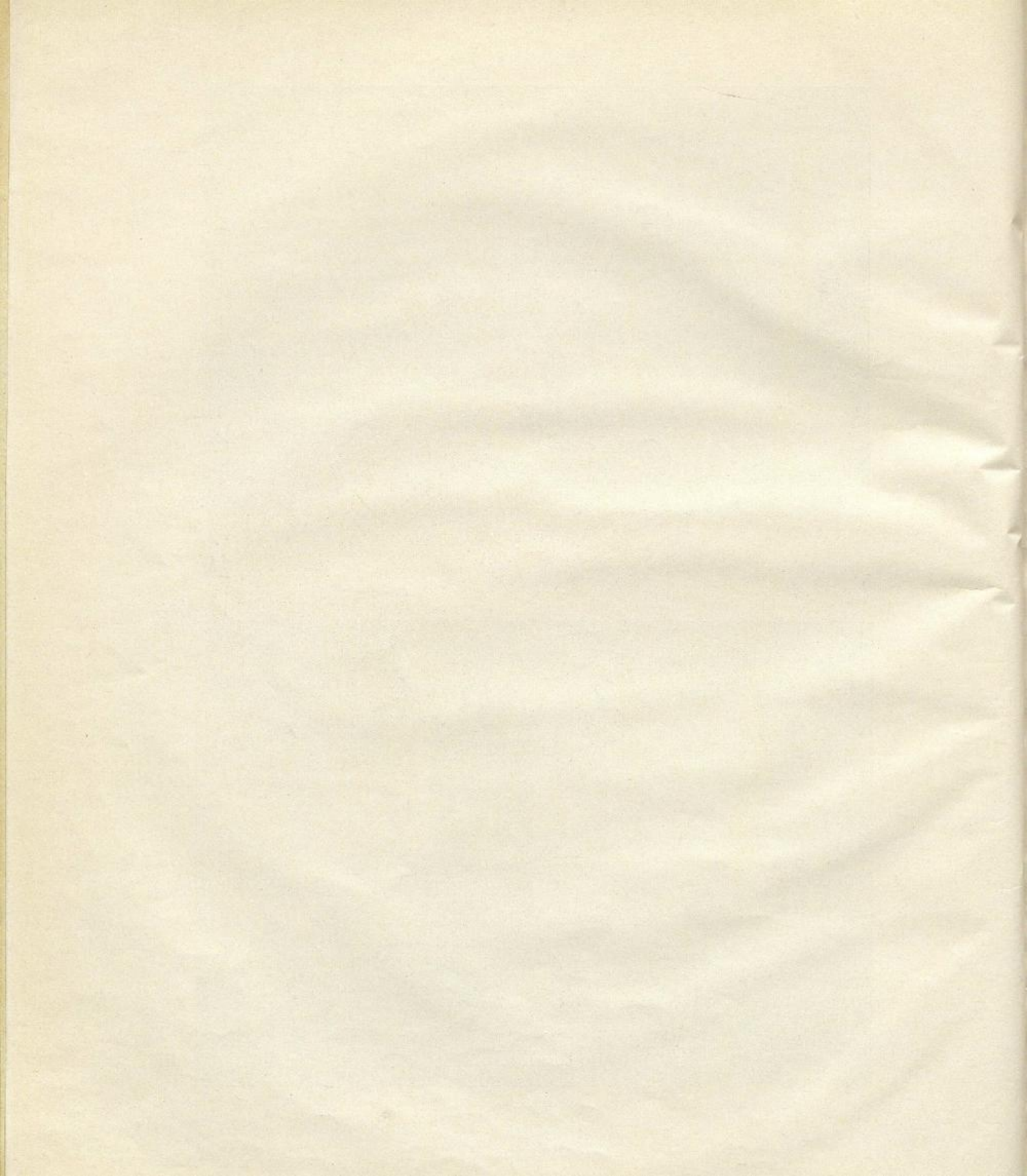


Bild 7



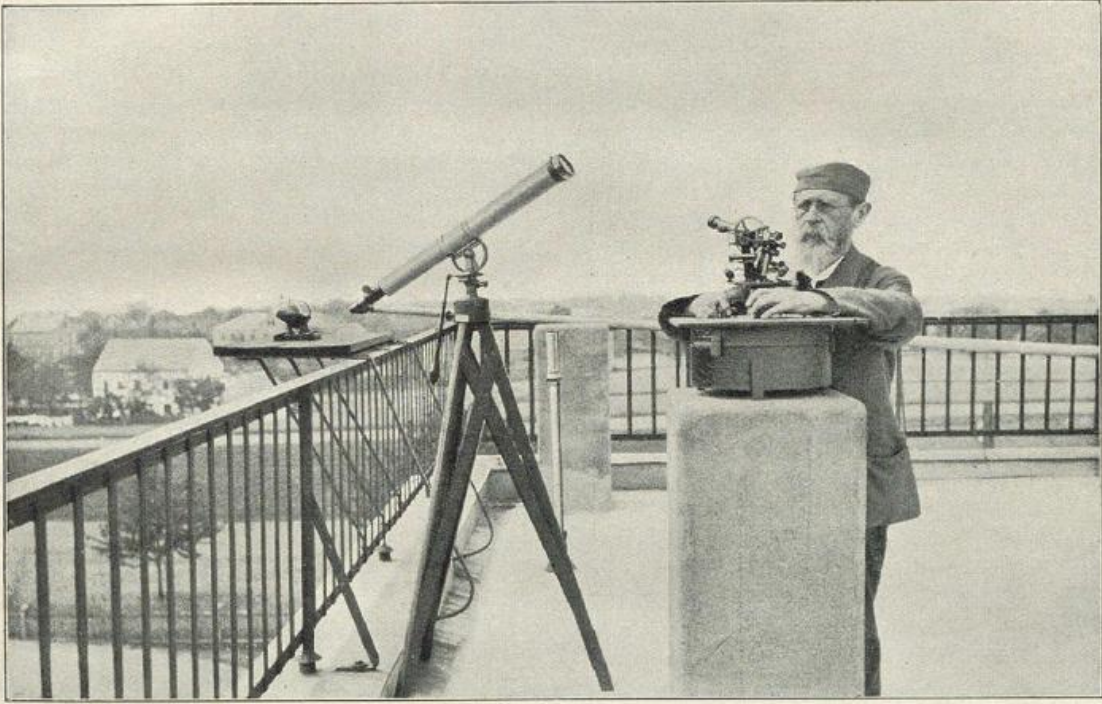


Bild 8

Die Aufgaben einer Wetterwarte und die Ausrüstung einer solchen mit Instrumenten.

Übersicht der Aufgaben.

Die Aufgabe einer Wetterwarte ist die Beobachtung aller Witterungsvorgänge ohne jede Unterbrechung. Es muß an einer solchen jederzeit am Tag wie in der Nacht ein Beobachtungsposten aufgestellt sein. Zwar hat man Registrierinstrumente, welche die direkte Beobachtung voll ersetzen können; man verbessert und vervollkommen dieselben immer mehr, aber jedes und auch das beste Instrument ist Störungen ausgesetzt, man wird sich also immer wenigstens davon überzeugen müssen, daß die Instrumente in Ordnung sind.

Wenn wir für eine Wetterwarte eine möglichst hohe und freie Lage aussuchen, so haben wir dabei in erster Linie die Möglichkeit **guter Windbeobachtungen** im Auge. Die Windrichtung wird von der Geländegestaltung der Umgebung stärker beeinflußt, als man dies vermutet, sonach muß die Wetterwarte so liegen, daß dieser Einfluß so klein als nur irgend möglich wird. Auch die Windstärke wird dadurch beeinflußt. Für den Wind haben wir schon gute Registrierapparate, welche die wichtigsten Vorgänge zur Darstellung bringen. Aber bei Windböen, welche rasche Änderungen in Richtung und Stärke des Windes mit sich bringen, sind die Apparate noch zu träge, und das macht bei diesen Vorgängen die direkte Beobachtung mit den Petroleummanometern an festen Stauplatten nötig, welche zunächst wohl die empfindlichsten Instrumente sein werden.

Für den **Luftdruck** haben wir Registrierinstrumente, welche die direkte Beobachtung vollständig ersetzen können. Das ist aber bei der **Temperatur** und **Feuchtigkeit** der Luft nicht der Fall. Die bisher eingeführten Registrierinstrumente können nur als ein Nothelfer bezeichnet werden. Dann hat man aber zu beachten, daß die Registrierstreifen erst abgelesen werden müssen. Man wird in sehr vielen Fällen deshalb besser tun, durch direkte Beobachtungen gleich die gewünschten Zahlen zu ermitteln. Das wird namentlich bei Beobachtungen in der Nähe des Erdbodens und innerhalb desselben zweckmäßig sein.

Noch mehr gilt dies von der Ermittlung des **in der Luft vorhandenen Wassers**. Stets ist dasselbe in Form von Wasserdampf mit verschiedenen Sättigungsgraden vorhanden. Bei Nebel und in Wolken können aber noch Wassertröpfchen oder Eiskristalle vorhanden sein. Ermittlungen hierüber werden in das Arbeitsgebiet der Fichtelbergwarte aufzunehmen sein. Auch bei den **Niederschlagserscheinungen** können die Registrierinstrumente die direkte Beobachtung nicht voll ersetzen. Fast alle anderen Einzelercheinungen, aus denen sich die Witterung zusammensetzt, erfordern die direkte Beobachtung.

Zu diesen gehören zuerst die **Wolken**. Hierbei kommt deren Ausbreitung über das sichtbare Himmelsgewölbe in Betracht, welche in Zehnteln oder auch Hundertsteln des letzteren aus-

gedrückt wird, so daß 0 wolkenlos, 10 oder 100 % volle Himmelsbedeckung bedeuten. Dann handelt es sich um die Bestimmung der Form, der Höhe und der Bewegung der Wolken. Über die Messung der Wolkenbewegung soll im Anhang eingehendere Mitteilung gemacht werden.

Die Bestimmung der **Wolkenhöhe** ist schwierig und kann sicher nur durch gleichzeitige photographische Aufnahmen von zwei Stellen in passendem Abstand aus ausgeführt werden. Hierbei kommt man aber in das Gebiet der **Luftbewegung in den höheren Schichten** der Atmosphäre. Ein Verfahren zur Ermittlung derselben besteht in dem Aufsteigenlassen von kleineren Ballonen aus Gummi, Papier oder anderen Stoffen. Gefüllt werden diese mit Wasserstoff oder Leuchtgas und zu diesen Zwecken ist die bei Fig. 1 erwähnte Ballonhalle bestimmt. Kennt man die Geschwindigkeit, mit der diese Ballone aufsteigen, so genügen Messungen der Höhen- und Azimutwinkel, um jederzeit den Ort eines solchen zu bestimmen. Daraus läßt sich dann die Horizontalbewegung der Luft ermitteln. Zu derartigen Messungen sind die Pfeiler bestimmt, welche auf den Terrassen und den Plattformen der Türme aufgestellt worden sind. Der Messungsvorgang ist aus Bild 8 zu ersehen. Der Pfeiler, auf dem der Theodolit steht, befindet sich auf der Terrasse in Wahnsdorf dicht bei dem für die Sonnenscheinautographen errichteten Tisch. Besser ist es aber, wenn ein derartiger Ballon durch Messungen von zwei Stellen aus verfolgt wird, da man dann ein Mittel hat, sich von der Richtigkeit der gewonnenen Ergebnisse zu überzeugen. Man kann dies angenähert erreichen, wenn man von einer Stelle aus auch die Bildgröße des Ballons mit einem Okularmikrometer mißt, was allerdings möglichst große Ballone und ein langes Fernrohr erfordert. Auch dieses Fernrohr ist auf Bild 8 zu sehen.

In engem Zusammenhang mit den Wolken stehen **Dunst** und **Nebel**, von denen die **Sichtigkeit** der Luft abhängt. Mittelhoch gelegene Warten werden seltener von diesen Trübungen der Atmosphäre eingehüllt werden, als die tieferen und sehr hohen. Wir müssen also auf dem Fichtelberg Bodennebel von der Nebelumhüllung der Bergkuppe unterscheiden. In Wahnsdorf muß aber auf die Dunst- und Nebelbildung im Elbtal geachtet werden.

Mit Wolken, Dunst und Nebel steht weiter die **Licht- und Wärmestrahlung** von Sonne und Mond in Zusammenhang. Bei dichter Bewölkung können nur so wenig Sonnenstrahlen zu uns gelangen, daß wir nur eine geringe Tageshelligkeit erhalten und von der Wärmewirkung auch nur sehr wenig merken. Von besonderer Wichtigkeit ist die **Bestimmung der Zeit, während deren die Sonne sichtbar ist**. Diese geschieht mit den Sonnenscheinautographen, deren es einige Arten gibt. Der bequemste derselben ist der in Bild 8 ersichtliche Glaskugelapparat. Die

massive vollständig schlierenfreie Glaskugel gibt im Brennpunkt ein kleines sehr heißes Sonnenbild, welches sich genau so wie die Sonne, aber in entgegengesetzter Richtung bewegt. Bringt man in der Fläche, in der sich dieses Sonnenbild bewegt, einen Kartonstreifen an, so erzeugt es eine Verkohlungs des Papiers, welche von leichten braunen Flecken bis zu breiten vollständig durchgehenden Brandstreifen gehen kann. Sonach erhält man nicht nur die Zeit, während deren die Sonne schien, sondern auch angenähert die Intensität der Strahlung. Am Morgen und am Abend tritt aber fast stets der Fall ein, daß die Sonne deutlich sichtbar ist, aber keine Bräunung des Kartonstreifens bewirken kann. Die Strahlung muß erst eine gewisse Intensität haben, die bei verschiedenen Apparaten wohl verschieden sein kann. Genaue Erörterungen erfordern also auch hier die direkte Beobachtung bei dem Auf- und Untergang der Sonne.

Die Messung der von der Sonne zur Erdoberfläche gelangenden Wärmemenge wird im Anhang eingehend behandelt werden. Die Sonne strahlt uns Wärme zu, der Erdboden, die Luft und alle darin befindlichen Gegenstände **strahlen aber Wärme nach dem Weltraum** aus. Diese Ausstrahlung findet ununterbrochen statt, die Zustrahlung aber wesentlich seltener und in mit der Bewölkung und der Jahreszeit wechselnder Stärke. Erstere spielt namentlich während der Nacht eine große Rolle und deshalb werden Messungen hierüber eine Hauptaufgabe der nächtlichen Beobachtungen bilden. Jedoch nicht nur die Wärmewirkung der Sonnenstrahlen, sondern auch deren **Lichtwirkung am Tage** und die **Lichtwirkung des Mondes und der Sterne in der Nacht** sind von Bedeutung für die Feststellung der Witterungsverhältnisse. Die Tageshelligkeit und

die Beschaffenheit des Lichts müssen Gegenstand stetiger Bestimmungen sein. Hierzu kommen noch die **Farbe** des Himmels, die **Polarisation** der Lichtstrahlen, die **Hof- und Ringbildungen** um Sonne und Mond und mancherlei andere Erscheinungen.

Die Fortschritte der Wissenschaft erfordern weiter die Aufnahme **luftelektrischer Messungen** am Tage und in der Nacht. Hierzu gehören naturgemäß die Beobachtungen über alle **Gewittererscheinungen**. Während des Kriegs ist es nicht möglich gewesen, hierzu selbst die einfachsten Instrumente zu erlangen, die Aufnahme dieser Messungen muß also zu meinem Bedauern bis zu besseren Zeiten verschoben werden.

Aus diesen Aufzählungen dürfte hervorgehen, daß jetzt schon so viel Beobachtungsgegenstände vorliegen, um einige Beobachter Tag und Nacht voll beschäftigen zu können. Im Lauf der Zeit werden sicher noch mehr hinzukommen. Dabei ist auf die außerordentliche praktische Bedeutung des Wetterdienstes, die in der neueren Zeit nach vielen Richtungen hin immer mehr hervortritt, noch nicht hingewiesen worden. Alles dies weist auf die Notwendigkeit hin, einen vollen Nachtdienst einzuführen. Was den Astronomen möglich ist und von jeher möglich war, wird wohl auch dem Meteorologen möglich sein.

Ich lasse nunmehr eine etwas ausführlichere Beschreibung der Methoden und Instrumente zur Bestimmung von Richtung und Stärke des Windes, zur Messung des Druckes, der Temperatur und der Feuchtigkeit der Luft und zur Wassermessung folgen. Wie bereits erwähnt wurde, werden die Messungen der Wolkenbewegung und der Sonnenstrahlung im Anhang eingehend behandelt werden.

Die Bestimmung von Richtung und Stärke des Windes.

Bei der Einrichtung der Windapparate mußten zuerst die altbewährten **Windfahne** und **Schalenkreuz** berücksichtigt werden. Ich habe in dem sächsischen Beobachtungssystem nach und nach zwei Windfahnen eingeführt, die sich in dem Einrichtungsprinzip gleichen, aber im Gewicht wesentlich verschieden sind. Die alte schwere Fahne empfiehlt sich an festen Bauwerken, an denen ein zwei- bis dreizölliges Gasrohr fest angemacht werden kann. Durch dieses geht dann, wie die erste Figur auf Bild 9 zeigt, die eigentliche Fahnenstange und ruht im Gebäude auf einer Spitze. Oben

lehnt sie sich nur an eine weite Rotgüßbüchse. Die auf Bild 9 danebenstehende leichtere Fahne ist über die festgemachte Fahnenstange gesteckt, ruht oben auf einer Spitze und lehnt sich unten nur an die Stange an. An dieser Stelle können Kugellager von Nutzen sein, sonst erscheinen sie zwecklos.

Aus Fig. 5 ersieht man, daß sich mit der Stange der schweren Fahne ein Zahnrad dreht und ein zweites in genau gleicher Größe aber entgegengesetzter Richtung bewegt. Mit diesem Rad dreht sich ein Schleifkontakt über acht Knöpfe, wodurch die Bewegung der Fahne in jeder beliebigen Entfernung kenntlich gemacht werden kann.

Aus Bild 10 geht hervor, daß bei der leichten Fahne die Kontakte oben unter der Fahne liegen, aber durch Zylinder gut vor den Witterungseinflüssen geschützt werden können. Die Drahtleitungen werden dann in der Fahnenstange herabgeführt. Die schwere Fahne dreht sich leicht genug, die leichte aber zu leicht.

Aus Fig. 6 und Bild 10 ersieht man auch noch die Einrichtung des Schalenkreuzes, welches nach je 24 Umdrehungen einen Kontakt gibt. Die in Bild 10 dargestellte Einrichtung fertigt nach meinen Angaben der Mechaniker Paul Kühne in Chemnitz. Die Windrichtung findet man durch Drehen einer Kurbel über acht Kontaktknöpfe, bis die Glocke anspricht. Steht der Wind zwischen zwei Richtungen, so sprechen zwei Knöpfe an, es kann also die Windrichtung nach 16 Punkten bestimmt werden. Schaltet man dann das Schalenkreuz ein, so ertönt die Glocke nach je 24 Umdrehungen des selben. Es wird die Zahl der Glockensignale während des Ablaufens einer Sanduhr (4 bis 5 Minuten) bestimmt und dann einer Tabelle die zugehörige mittlere Windgeschwindigkeit entnommen. Bei schwachen Winden dauern die Glockensignale sehr lange, da das Schalenkreuz während einiger Umdrehungen dauernd Kontakt gibt.

Mit der Theorie der Windstärkemesser habe ich mich in meinen Studien über Luftbewegungen (Abhandlungen Heft 3 1898) eingehend beschäftigt.

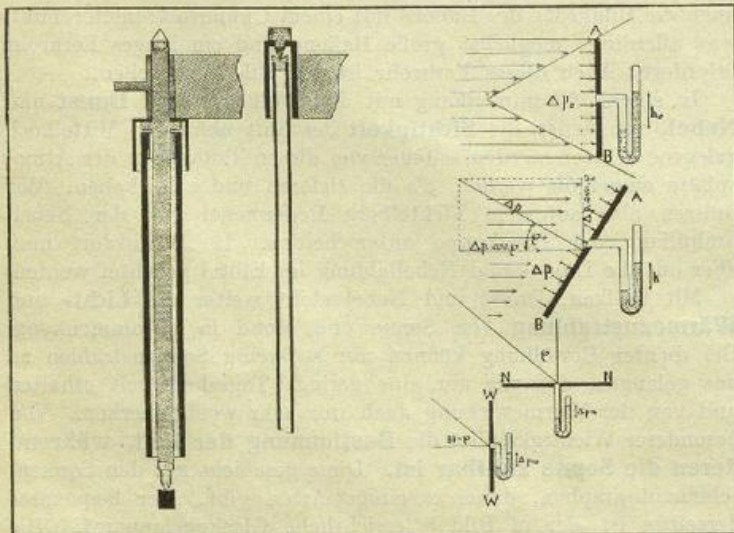


Bild 9

das meiste wird heute noch gültig sein. Bei der Theorie der Schalenkreuz-anemometer kann man die zwei Gleichungen zugrunde legen

$$w = a + b v = a + \beta n.$$

Hierin ist w die Windgeschwindigkeit in Metern/Sekunde, a die Reibungskonstante, v die Geschwindigkeit der Mittelpunkte der Kugelschalen, n die Zahl der Umdrehungen in 1 Sekunde. b und β sind Zahlenwerte, zwischen denen die Beziehung

$$\beta = 2 R \pi \cdot b$$

besteht, wenn R den in Metern ausgedrückten Abstand des Mittelpunktes einer Kugelschale von der Drehaxe bedeutet. Früher setzte man einfach $a = 0$ und $b = 3$, mithin

$$w = 3 v.$$

nahm also an, daß die Windgeschwindigkeit dreimal so groß ist als die Drehungsgeschwindigkeit des Mittelpunktes einer Kugelschale. Es hat sich aber herausgestellt, daß die Reibungskonstante a nicht vernachlässigt werden darf und daß b einen zwischen 2.5 und 3 liegenden Wert hat. Jetzt wendet man nur den Ausdruck $w = a + \beta n$ an, da die Konstanten a und β experimentell leicht und genügend genau ermittelt werden können. Für das Kühnesche Anemometer wurde auf dem Rotationsapparat der Seewarte in Hamburg die Gleichung

$$w = a + 2.17 n \quad \text{m/sec} \quad a = 0.4 \text{ bis } 1.0$$

gefunden.

Wenn das Schalenkreuz zur elektrischen Fernangabe eingerichtet ist, so wird es nach einer gewissen Anzahl (N) Umdrehungen einen Stromschluß geben. Ist dann z die Zeit zwischen je zwei Kontakten in Sekunden, so wird

$$n = N : z$$

$$w = a + \frac{5 N}{z}$$

sich ergeben.

Bei dem Kühneschen Anemometer ist $N = 24$, also $w = a + \frac{52.08}{z}$.

Wenn aber z die Zeit ist, welche zwischen m Stromschlüssen verläuft, so wird $n = 24 \cdot m : z$ sein, also auch

$$w = a + \frac{52.08}{z} \cdot m$$

$$z = \frac{52.08 m}{w - a}$$

Hieraus erhält man für

$$z = 24^{\circ} \text{ (Sanduhr)} \quad 300^{\circ} \quad 3600^{\circ}$$

$$w = a + 0.210 m \quad a + 0.174 m \quad a + 0.0145 m.$$

Neben dem Anemometer von Kühne soll noch ein kleines Schalenkreuz von Fueß möglichst hoch in Tätigkeit kommen. Es soll dieses so eingerichtet werden, daß es nach je 3600 m Windweg einen Kontakt ergibt. Alsdann wird die Zahl der Kontakte in einer Stunde die mittlere Windgeschwindigkeit in Metern/Sekunde ergeben. Die Firma R. Fueß hat während des Krieges dieses Instrument nicht liefern können, es mußte einstweilen ein gleich großes Instrument mit Kontakt nach je 500 m Windweg in Betrieb gesetzt werden, für welches die Seewarte die Gleichung

$$w = 0.57 + 0.1319 m \quad (m = \text{Kontakte in 1 Stunde})$$

festgestellt hatte. Für das Kühnesche Instrument nehme ich an

$$w = 1.0 + 0.0145 m.$$

Im November 1916 fand die Vergleichung zwischen den beiden Instrumenten derart statt, daß aus der Zahl der Kontakte während je einer Stunde die Stundenmittel der Windgeschwindigkeit abgeleitet wurden. Es wurden an 6 Tagen zusammen 90 Paare von Stundenmitteln zwischen 2.7 m/sec und 14.3 m/sec erhalten und aus je 5 Paaren die Mittel genommen.

Kühne	Fueß	Kühne-Fueß	Kühne	Fueß	Kühne-Fueß
3.83	3.78	+ 0.05	7.42	7.90	- 0.48
3.94	3.90	- 0.04	9.63	10.68	- 1.05
4.32	4.54	- 0.22	10.08	10.64	- 0.56
4.34	4.58	- 0.24	10.60	11.12	- 0.52
4.54	4.62	- 0.08	10.67	11.30	- 0.63
4.59	4.74	- 0.15	10.82	11.56	- 0.74
4.72	5.00	- 0.28	10.82	11.60	- 0.78
5.33	5.82	- 0.49	12.22	13.10	- 0.88
6.25	6.72	- 0.47	12.92	13.50	- 0.58
Mittel: Kühne-Fueß = - 0.45 m/sec.					

Das Ergebnis steht in der vorstehenden Tabelle. Da Fueß 3 m über Kühne steht, erscheint eine größere Windstärke denkbar, es würde eine derartige Erscheinung aber auch durch Fehler in den Koeffizienten 0.1319 oder 0.0145 oder den Reibungskonstanten bedingt werden können. Von Bedeutung würden diese Fehler aber nicht sein und es würde sich zunächst nicht entscheiden lassen, welche der Koeffizienten als falsch zu betrachten sind. Das Fueßsche Instrument versagte sehr bald, es wurde im Weihnachtsturm 1916 verbogen und lief sich so vollständig aus, daß es wesentlich zu kleine Windstärken lieferte. Im Frühjahr 1917 wurde es durch ein zweites gleichartiges Instrument ersetzt, bei diesem aber angenommen, daß ein Kontakt nach je 500 m Windweg erfolgt. Verglichen wurden die Tagesmittel der Windstärken und folgende Resultate erhalten.

Differenzen der Tagesmittel: Kühne-Fueß bei den Windstärken zwischen								
1917	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Metern/Sekunde								
Mai	+ 0.0	+ 0.3	+ 0.3	+ 0.5	+ 0.8	+ 0.9	-	-
Juni	-	-	0.1	0.1	-	0.1	+ 0.2	-
Juli	-	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	-
August	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.2	0.1	-
September	0.2	0.3	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	- 0.1
Oktober (nur 10 Tage)	-	-	0.5	0.6	0.5	0.0	0.2	0.3
Mai: altes Instrument; Juni—Oktober: neues Instrument.								

Es ist daraus zu ersehen, daß während des Sommers 1917 beide Instrumente fast genau übereingestimmt haben, aber die größeren Geschwindigkeiten des höher stehenden Fueß sind nicht mehr in den Tagesmitteln zu erkennen.

Die Schalenkreuze sind zweifellos die zweckmäßigsten Instrumente zur Bestimmung der mittleren Windgeschwindigkeit während eines mehr oder weniger langen Zeitraumes. Die Reduktionsgleichungen können auf dem Rotationsapparat genügend genau bestimmt werden und die Instrumente erfordern keine Einstellung in die Windrichtung. Ähnliche Vorteile haben die Flügelrädchen, da bei ihnen auch die Beziehung zwischen Umdrehungsgeschwindigkeit und Windgeschwindigkeit direkt auf dem Rotationsapparat bestimmt wird, aber sie müssen in den Wind eingestellt werden und lassen sich gegen schädliche Witterungseinflüsse schwerer schützen. Zu Kontrollmessungen eignen sie sich aber sehr gut.

Bei allen anderen Instrumenten wird der Winddruck gemessen und daraus die Windgeschwindigkeit berechnet. Das ist ein sehr unsicheres Verfahren, wie aus den folgenden Darstellungen sich ergeben dürfte. Ich muß mich dabei allerdings immer noch auf meine Studien über Luftbewegungen stützen. Sollte die Neuzeit wirklich wesentlich andere Ergebnisse geliefert haben, so wird sich wohl jemand finden, der diesen Gegenstand einmal gründlich wieder bearbeitet.

Im Bild 9 rechts oben stellt AB eine große ebene Platte vor, welche dem Wind senkrecht entgegensteht. Es bildet sich dann ein Keil ruhender Luft vor der Platte, in dem die Spannung der Luft um Δp größer ist als der statische Druck p in der Umgebung. Setzt man in der Mitte der Platte ein Wassermanometer an, dessen Höhe h in Millimetern gemessen wird, während Δp Kilogramme auf 1 qm bedeutet, so muß

$$\Delta p = h$$

sein.

Für Δp wird allgemein der weitere Ausdruck

$$\Delta p = \zeta \cdot \gamma \cdot \frac{w^2}{2g} = 23.68 \zeta \frac{b}{T} w^2$$

aufgestellt. Hierin bedeuten

- γ das Gewicht von 1 cbm Luft in Kilogrammen,
- $g = 9.81$ m/sec die Beschleunigung der Schwerkraft,
- b den Barometerstand in Metern Quecksilbersäule,
- T die absolute Temperatur = $273 + t^\circ C$,
- w die Windgeschwindigkeit in Metern/Sekunde,
- ζ einen Zahlenwert (um $\zeta = 1.3$).

Für $b = 0.76$ m und $T = 273^\circ$ erhält man

$$\Delta p = 0.06591 \zeta w^2$$

und dann für

$$\zeta = 1.3 \quad \Delta p = 0.08568 w^2.$$

In meinen Studien über Luftbewegungen habe ich mich bemüht nachzuweisen, daß ζ den Wert 1.3 hat. Dann würde bei normalen Verhältnissen an der Erdoberfläche der Wind von 1 m/sec Geschwindigkeit einen Druck von $0.08568 \text{ kg/qm} = 86 \text{ gr}$ auf 1 qm ausüben und dieser würde dem Druck einer Wassersäule von 0.086 mm Höhe entsprechen. Von anderer Seite wird aber ζ viel größer, bis zu 3, angenommen. In dem Taschenbuch des Ingenieurs, Die Hütte, wird wohl jetzt noch

$$\zeta = 1.86 \quad \Delta p = 0.1225 w^2$$

gerechnet. Man wird also einfach in den meisten Fällen

$$\Delta p_0 \text{ kg/qm} = h_0 \text{ mm Wassersäule} = 0.1 w^2$$

nehmen können. Durch den Index 0 soll angedeutet werden, daß der Wind normal zur Druckfläche steht, der Winkel zwischen Windrichtung und Plattennormalen also Null ist. Wenn die Plattennormale mit der Windrichtung einen Winkel φ bildet, so werden die Verhältnisse wesentlich komplizierter. Die Luft übt jetzt in der Mitte der Platte einen normal zur Platte gerichteten Druck Δp aus, welcher durch das Wassermanometer bestimmt werden kann und wieder = h mm Wassersäule ist. Über diese spez. Pressung der Platte bestand und besteht wohl jetzt noch eine große Unsicherheit. Man findet hierfür die Formeln

$$\Delta p = \cos^2 \varphi \Delta p_n \text{ oder } \Delta p = \cos \varphi \Delta p_0 \text{ oder } \Delta p = \frac{(4 + \pi) \cos \varphi}{4 + \pi \cos \varphi} \Delta p_n$$

$$\text{oder } \Delta p = \frac{2 \cos \varphi}{1 + \cos \varphi} \Delta p_n.$$

Die Normalpressung Δp kann man in ihre Komponenten in der Windrichtung und senkrecht zu derselben

$$\Delta p \cdot \cos \varphi \text{ und } \Delta p \cdot \sin \varphi$$

zerlegen. Die erstere läßt sich leicht experimentell bestimmen, sie stellt auch den Widerstand W vor, welchen die Platte bei der Bewegung in ruhender Luft mit der Geschwindigkeit w findet. In der nachstehenden Tabelle sind die Werte für Δp bei $\Delta p_0 = 100$ zusammengestellt worden, welche die angegebenen Formeln liefern. Hinzugenommen wurden noch Zahlen, welche Widerstandsbestimmungen in Wasser durch Vince und in Luft durch Hutton und Thibault ergeben haben.

φ	$\cos^2 \varphi$	$\cos \varphi$	$\frac{(4 + \pi) \cos \varphi}{4 + \pi \cos \varphi}$	$\frac{2 \cos \varphi}{1 + \cos \varphi}$	Vince	Hutton	Thibault
					W: $\cos \varphi$		
0	100	100	100	100	100	100	100
10	97	99	99	99	98	100	100
20	88	94	97	97	98	100	100
30	75	87	92	93	96	100	100
40	59	77	85	87	87	100	100
45	50	71	81	83	83	95	96
50	41	64	76	78	79	90	91
60	25	50	64	67	66	69	76
70	12	34	48	51	46	46	53
80	3	17	27	29	28	27	33
90	0	0	0	0	0	0	0

Es geht daraus hervor, daß die Normalpressung anfangs nur sehr wenig von φ beeinflusst wird. Ein Winkel von 20° mit der Windrichtung wird auf die Angabe des Wassermanometers ohne merklichen Einfluß sein. Mit den Beobachtungen stimmt am besten die Formel $2 \cos \varphi : (1 + \cos \varphi)$ überein, am schlechtesten die Formel $\cos^2 \varphi$.

In der Figur rechts unten des Bildes 9 denke ich mir zwei Platten senkrecht zueinander in den Wind gestellt. Die Normale der Platte NN soll in der Richtung des Meridians liegen. Dann wird das Manometer an NX die Nord-Süd-Komponente des Winddruckes, das Manometer an WW aber die Ost-West-Komponente angeben. Es wird im allgemeinen

$$\Delta p_n = \Delta p_0 f(\varphi) \quad \Delta p_w = \Delta p_0 f(90 - \varphi) \quad \Delta p_0 = 0.1 w^2$$

sein, wenn man mit $f(\varphi)$ eine der im vorstehenden aufgeführten Funktionen bezeichnet.

Am einfachsten würde sich die Sache gestalten, wenn $f(\varphi) = \cos \varphi$ wäre. Dann würde man erhalten

$$\Delta p_n = \Delta p_0 \cos \varphi \quad \Delta p_w = \Delta p_0 \sin \varphi$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{\Delta p_w}{\Delta p_n} \quad \Delta p_0 = \sqrt{\Delta p_w^2 + \Delta p_n^2}.$$

Für $\varphi = 45^\circ$ müßte sein

$$\Delta p_w = \Delta p_n \quad \Delta p_n = \sqrt{2} \cdot \Delta p_0 = 1.414 \Delta p_0 = 1.414 \Delta p_w.$$

Nach den Versuchen von Hutton, Vince und Thibault scheint aber $f(\varphi) = \cos \varphi$ wenig zu genügen und $f(\varphi) = 2 \cos \varphi : (1 + \cos \varphi)$ am besten zu passen. Dies würde

$$\Delta p_n = \frac{2 \cos \varphi}{1 + \cos \varphi} \Delta p_0 \quad \Delta p_w = \frac{2 \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \Delta p_0$$

ergeben, also eine wesentlich kompliziertere Gestaltung der Formeln. Deshalb setze ich

$$F(\varphi) = \frac{f(\varphi)}{f(90 - \varphi)} = \frac{\Delta p_n}{\Delta p_w} \quad \Delta p_n = \frac{\Delta p_n}{F(\varphi)} = \frac{\Delta p_w}{f(90 - \varphi)}$$

Aus der nachstehenden Tabelle folgt aber für $f(\varphi) = 2 \cos \varphi : (1 + \cos \varphi)$

φ	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
$F(\varphi)$	1.00	0.99	0.97	0.93	0.87	0.83	0.78	0.67	0.51	0.29	0
$f(\varphi)$	1.00	1.01	1.03	1.08	1.15	1.20	1.28	1.49	1.96	3.45	∞
$F(\varphi)$	∞	2.87	1.90	1.40	1.10	1.00	0.90	0.72	0.53	0.29	0
θ	1.00	1.05	1.09	1.12	1.14		1.16	1.17	1.18	1.21	1.32

Es ist also für

$$\varphi = 45^\circ \quad \Delta p_w = 1.2 \Delta p_n = 1.2 \Delta p_w,$$

$$= 1.414 \Delta p_n = 1.414 \Delta p_w.$$

nicht aber

Die Windrichtung kann man mit aller Schärfe durch graphische Darstellung der Funktion $F(\varphi)$ und Aufsuchen des zu der Beobachtung $\Delta p_n : \Delta p_w$ gehörigen Wertes von φ bestimmen. In der Praxis macht sich aber die Sache einfacher. Ist

$\varphi = 0$, so ist	$\Delta p_n = \Delta p_0$	$\Delta p_w = 0$
$= 22\frac{1}{2}$	$\Delta p_n : \Delta p_w = 1.8$	$\Delta p_0 = 1.05 \Delta p_n$
$= 45$	$\Delta p_n = \Delta p_w$	$\Delta p_0 = 1.2 \Delta p_n = 1.2 \Delta p_w$
$= 67\frac{1}{2}$	$\Delta p_w : \Delta p_n = 1.8$	$\Delta p_0 = 1.05 \Delta p_w$
$= 90$	$\Delta p_n = 0$	$\Delta p_w = \Delta p_0$

Es lag nahe, den Winddruck gegen ebene Platten wirken zu lassen und zu messen, jedoch ist meines Wissens dabei keine befriedigende Einrichtung erzielt worden. Zu Kontrollbeobachtungen kann man aber mit Vorteil das in Fig. 7 dargestellte Instrument verwenden. Durch den Winddruck wird eine um eine horizontale Achse drehbare Platte aus der Vertikallage um einen Winkel φ abgelenkt. Der Winddruck wird sich dann aus den Größenverhältnissen, dem Gewicht der Platte und φ berechnen lassen. Auf Seite 40 meiner Studien über Luftbewegungen habe ich folgende Ausdrücke erhalten:

$$\Delta p_0 = \frac{G}{F} \text{tg } \varphi \cdot \theta \quad w = 3.5 \sqrt{\frac{G}{F} \cdot \text{tg } \varphi}.$$

Hierin ist G das Gewicht der Platte in Kilogrammen, F deren Fläche in Quadratmetern, θ ist eine Funktion von φ , deren Werte in der letzten Zahlensammlung unten angefügt worden sind und zwischen 1.00 und 1.32 liegen.

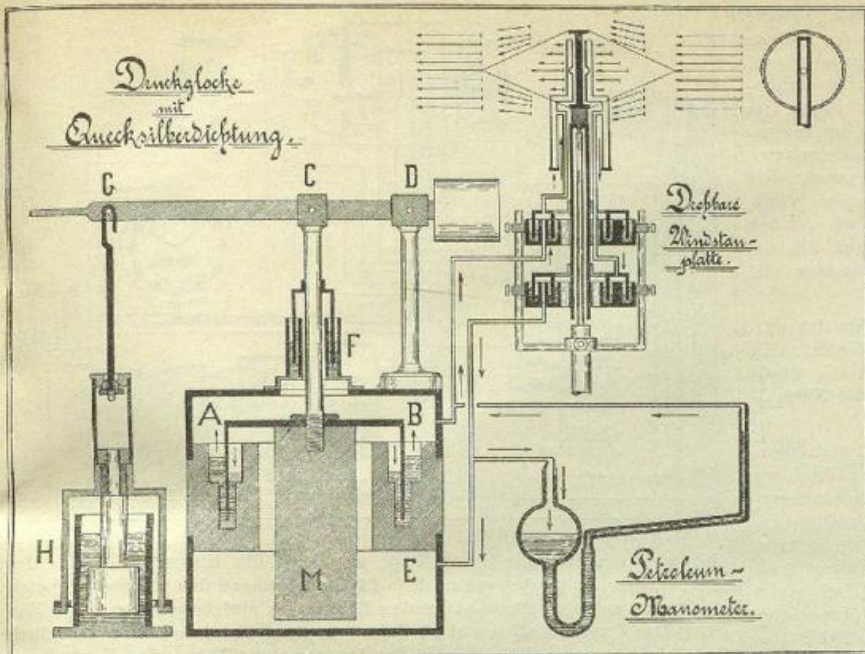


Bild 11

Am meisten Aussicht werden wohl diejenigen Instrumente haben, welche die Spannung der Luft vor und hinter der Mitte einer Platte unmittelbar angeben. Auf der Vorderseite wird ein Überdruck Δp_1 herrschen, auf der Rückseite aber ein Minderdruck $-\Delta p_2$, es wird also ein Manometer, von dem ein Schenkel mit der Vorderseite in Verbindung steht, der andere aber mit der Hinterseite, den Druck

$$\Delta p = \Delta p_1 - (-\Delta p_2) = \Delta p_1 + \Delta p_2$$

angeben.

Es sind bereits mehrere Instrumente in dieser Beziehung hergestellt worden. Wenn es sich dabei um direkte Beobachtung der momentanen Windstärke handelt, wird man für größere Windstärken schon recht zuverlässige Einrichtungen haben. Für sehr schwache Winde versagen aber fast alle. Es ist nicht möglich, ein Instrument für alle Windstärken zweckmäßig herzustellen, man wird wohl für sehr schwache, mittlere und starke Winde besondere Vorrichtungen treffen müssen. Da der Wind sehr rasch in seiner Stärke schwankt, kommt es hauptsächlich darauf an, die zu bewegenden Massen möglichst klein zu machen, und das ist es, was die Herstellung eines bei allen Windstärken gleich empfindlichen Apparates schwer macht.

Im Bild 11 stellt die rechte Seite eine für Ablesung der Windstärke an einem Petroleummanometer bestimmte Einrichtung vor, wie diese zunächst in Wahnsdorf in Betrieb ist. Eine kreisförmige Stauscheibe von 20 bis 25 cm Durchmesser kann durch eine in der Zeichnung weggelassene Windfahne dem Wind senkrecht entgegeng gehalten werden. Vor und hinter der Platte befinden sich Röhren, welche in der Mitte der Platte Löcher haben, die der Plattenfläche zugekehrt sind. Der Wind bewirkt in der vorderen Röhre Überdruck, welcher auf das Petroleum in der Kugel des Manometers wirkt, während in der hinteren Röhre durch die Saugwirkung Minderdruck entsteht, der auf die Petroleumkuppe in der Röhre wirkt. Da die Dichte des Petroleums 0.8 ist, hat man also

$$\Delta p_0 = \Delta p_1 + \Delta p_2 = 0.8 h_0,$$

worin Δp_0 den Druck des Windes normal auf 1 qm in Kilogrammen und h_0 die Höhe der Petroleumsäule in Millimetern bedeuten. Die Rohrleitungen gehen erst durch Absperrglocken, welche mit der Platte drehbar sind. Es empfiehlt sich, diese Glocken aus Eisen zu machen und als Absperrflüssigkeit Quecksilber zu verwenden. Um eindringendes Wasser unschädlich zu machen, müssen auch Wassersäcke angebracht werden. Alle diese Einzelheiten werden wohl aus der Zeichnung genügend klar zu erkennen sein. Der schräge Teil der Manometerröhre ist 25 cm lang und steigt nur um 1 cm

an. In ihm bewegt sich die Petroleumkuppe bei Windgeschwindigkeiten von 0 bis 10 m/sec. Bei größeren Windstärken steigt die Petroleumkuppe im vertikalen Teil der Röhre an. Man kann an Maßstäben die Höhe h ablesen, es sind daneben aber auch Skalen angebracht worden, welche die Windgeschwindigkeit angeben.

Wenn es sich aber um die Registrierung der Windstärke handelt und man die photographischen Verfahren nicht anwenden will, wird man zuerst zu den Druckglocken greifen müssen. Die linke Seite des Bildes 11 stellt eine solche Druckglocke mit Quecksilber als Absperrflüssigkeit vor. Die Theorie der Druckglocken soll im Anhang eingehend behandelt werden, es werden also hier nur einige Angaben über die Wirkungsweise ausreichen. Die aus sehr dünnwandigem Stahlrohr hergestellte Glocke A-B greift bei C an dem Wagebalken an, dessen Drehaxe bei D liegt. Die Glocke taucht in Quecksilber in einem ringförmigen eisernen Trog. Bei E tritt der Überdruck Δp_1 ein und sucht die Glocke anzuheben. Er wird darin unterstützt durch den bei B einmündenden Minderdruck Δp_2 . Da dieser Raum vor dem statischen Druck der umgebenden Luft geschützt werden muß, ist bei F eine Quecksilberabdichtung angebracht worden. Die Glocke kann frei nur von ihrer tiefsten Stellung an bis zur Hälfte ihrer Bewegungsmöglichkeit, bei der dann der Wagebalken horizontal steht, spielen. Hat sie diese Stellung erreicht, so greift an dem Wagebalken bei G ein in Quecksilber schwimmendes Gewicht H an. Dadurch wird die Bewegungsgröße für die Einheit der Druckzunahme herabgesetzt. Ist die Glocke um $\frac{3}{4}$ ihrer Hubmöglichkeit angestiegen, so

ragt der enge Teil des Gegengewichts H vollständig aus dem Quecksilber heraus und es erscheint der weite Teil an der Oberfläche des Quecksilbers, was die Bewegungsgröße noch weiter vermindert. Die Verlängerung des Wagebalkens über G hinaus führt zu einer Schreibfeder, welche auf einem Papierstreifen von etwa 200 mm Breite die Windstärken stetig aufzeichnet. Man kann es dann so einrichten, daß die unteren 100 mm des Papiers für Windstärken von 0 bis 10 m/sec, die Strecke 100 bis 150 für Geschwindigkeiten 10 bis 20 m/sec und der darüber liegende Teil für die seltenen größeren Geschwindigkeiten bestimmt sind. Es erfordert dies aber, daß mit der leichten Druckglocke ein mehrere Kilogramm schweres Gewicht M verbunden und bewegt werden muß, so daß die Glocke bei schwachen Winden rasch verlaufenden Winddruckschwankungen nicht genügend rasch folgen kann. Man wird sich also wohl entschließen müssen, für schwache, mittlere und starke Winde besondere Instrumente aufzustellen.

Auf der linken Seite des Bildes 12 ist das Instrument von Dines-Casella dargestellt worden. Hier wird dem Wind eine Stoßröhre entgegeng gehalten. Der Überdruck wirkt auf das Innere einer in Wasser schwimmenden Druckglocke aus Kupferblech. Der äußere Teil der Glocke steht mit Löchern in Verbindung, welche in einer Röhre in der Nähe der Stoßröhre nach allen

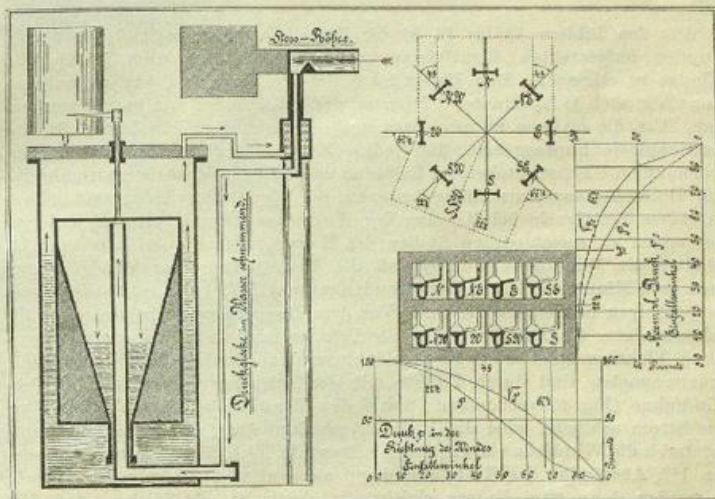


Bild 12

Richtungen eingebohrt sind. Es soll dies $\Delta p_2 = \text{Null}$ bewirken, so daß das Instrument nur $\Delta p_0 = \Delta p_1$ mißt. Die eigentümliche Form der Druckglocke bewirkt, daß die Bewegung proportional der $\sqrt{\Delta p_0}$, also proportional der Windgeschwindigkeit w erfolgt. Ein solches Instrument ist in Wahnsdorf mit einem parallel geschalteten Petroleummanometer in Tätigkeit. Die Rohrleitung ist so kurz und weit als möglich hergestellt worden, das Instrument ist aber sehr träg und zeigt lange nicht die am Petroleummanometer ersichtlichen Windstärken an. Zweifellos sind die Massen zu groß. Bei böigen Winden treten außerordentlich rasche Schwankungen in der Windstärke auf, der größte Teil derselben scheint aber durch die sich hin und her bewegende Stoßröhre bedingt zu sein. Wenn das Instrument an die auf Bild 11 dargestellte Windstauplatte angelegt wird, ist die Bewegung viel ruhiger und auch größer.

Der Hauptnachteil der drehbaren Stauplatte und Stoßröhre ist der, daß sie im Winter leicht festfrieren und auch bei schwachen Winden sich schwer in die Windrichtung einstellen. Das trifft namentlich die Stoßröhre, bei der Druckplatte kommt eine mäßige Abweichung von der Normalstellung weniger in Betracht.

Ich habe deshalb den Versuch gemacht, durch Aufstellung fester Stauplatten alle beweglichen Teile unnötig zu machen. Auf dem Fichtelberg wurden 8 feste Stauplatten den 8 Hauptrichtungen des Windes entgegengestellt, wie dies die rechte Seite des Bildes 12 zeigt. Die aus Gußeisen hergestellten Platten haben 40 cm Durchmesser, die Rohrleitung 25 mm. An jeder Platte liegt ein Petroleummanometer der bereits beschriebenen Art. Die Anordnung ist aus Bild 12 zu ersehen. Wenn der Wind genau eine Platte senkrecht trifft, z. B. die Nordplatte, so wird das N-Manometer den vollen Wert Δp_0 zeigen. Mit den Normalen auf die NW- und NO-Platte bildet der Wind einen Winkel von 45° , es wird also $\Delta p = 0.83 \Delta p_0$ sein, die an diesen Platten liegenden Manometer werden also nur 83 % der Höhe des Nordmanometers haben. Wenn der Wind aber vielleicht aus SSW weht, so werden vier Manometer ansprechen. Die Winkel mit den Normalen sind bei der S- und SW-Platte $22\frac{1}{2}^\circ$, bei der W- und SO-Platte aber $67\frac{1}{2}^\circ$. So nach müssen die S- und SW-Manometer ungefähr $\Delta p = 0.96 \Delta p_0$, die W- und SO-Manometer aber $\Delta p = 0.52 \Delta p_0$ zeigen. Man wird also mit großer Schärfe Richtung und Geschwindigkeit des Windes bestimmen können. Es wird auch leicht sein, die Vorrichtung selbst bei dem tollsten Winterwetter in Wirksamkeit zu erhalten.

In Wahnsdorf habe ich nur vier feste Stauplatten in den Richtungen nach NO, NW, SO und SW aufgestellt. Die Manometer stehen in der Anordnung

NW	NO
SW	SO

Die Bestimmung von Richtung und Stärke des Windes bei dieser Einrichtung wurde schon ausführlich erörtert.

Zur Registrierung von Richtung und Stärke des Windes werden vier Druckglocken ausreichen, aus denen allerdings zwölf werden, wenn man für schwache, mittlere und sehr starke Winde besondere Apparate anwenden will.

Aus den Bildern 13 bis 15 ist die Einrichtung der in Wahnsdorf und Dresden aufgestellten Registrierapparate für Richtung und Stärke des Windes zu erkennen. Den Hauptteil bildet die Uhr (Bild 13), an welcher Kontakte nach je $\frac{1}{2}$ Minute, 5 Minuten und 60 Minuten angebracht worden sind. Um die ersten zu erreichen, muß ein Stift über 120 Löcher in der Messingplatte hinweggehen. Bei jedem Kontakt spricht zuerst eines der drei auf dem Uhrzeit stehenden Relais an und schließt den Arbeitsstromkreis. Die Halbminutenstromschlüsse bewegen die Registrierzylinder und geben außerdem Zeitsignale bei Messung der Wolkengeschwindigkeit und anderen Messungen an verschiedenen Stellen des Hauses. Der Fünfminutenkontakt schaltet die Windfahne ein, so daß die Registrierung der Windrichtung nach je 5 Minuten erfolgt. Der Stundenkontakt liefert die Stundenmarken an beliebigen Stellen des Hauses. Vor dem Registrierzylinder stehen zwölf Schreibfedern, die auf denselben parallele horizontale Linien ziehen, aber durch Elektromagneten etwas abgelenkt werden können. Die oberen acht Federn sind durch Drähte mit den acht Kontaktknopfen an der Windfahne (Fig. 5) verbunden. Sowie der Fünfminutenkontakt der Uhr den Strom schließt, wird die Feder abgelenkt, über deren Kontaktknopf der durch die Windfahne bewegte Schleifkontakt ruht. Dieser hat eine Länge von $1\frac{1}{2}$ Abständen der Knöpfe, er kann also auf zwei Knöpfen ruhen und es werden dann zwei Federn gleichzeitig abgelenkt, als Zeichen, daß die

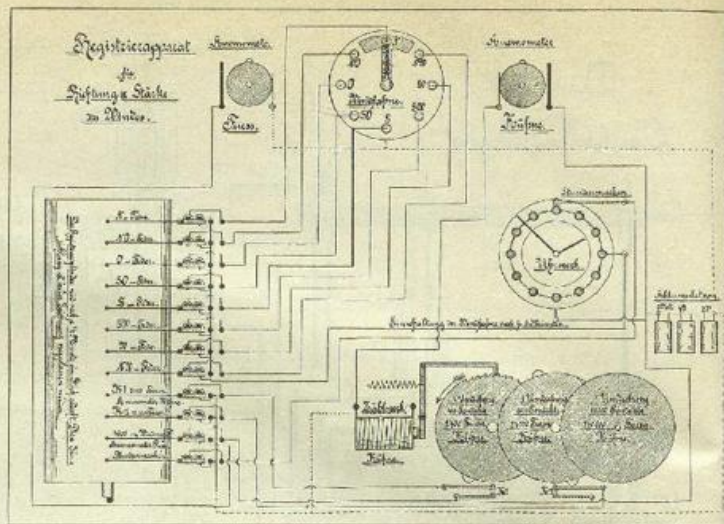


Bild 15

Windrichtung zwischen denen liegt, zu denen die Knöpfe gehören. Das Anemometer Kühne bewegt nach je 24 Umdrehungen den Elektromagneten des rechts auf einer Bank stehenden Zählwerkes und bewegt das erste Rad bei jedem Stromschluß um einen Zahn vorwärts. Da dieses Rad 100 Zähne hat, wird es nach je 2400 Touren des Anemometers Kühne eine Umdrehung vollenden, es schließt einen Stromkreis und dadurch macht die neunte Feder auf dem Registrierstreifen eine Marke. Hat das zweite Rad des Zählwerkes, welches eine Umdrehung bei zehn Umdrehungen des ersten ausführt, eine halbe Umdrehung gemacht, so wird wieder ein Stromkreis geschlossen und es macht dann die zehnte Feder eine Marke nach je 12 000 Touren des Anemometers Kühne. Die elfte Feder ist für das Anemometer Fuß bestimmt, sie wird in der Stunde so viel Marken ergeben, als die Windgeschwindigkeit Meter/Sekunde beträgt. Die zwölfte Feder gibt endlich die Stundenmarken, welche gestatten, die mittlere Richtung und Stärke des Windes während einer jeden Stunde abzuleiten.

Aus Bild 15 lassen sich die Stromkreise übersehen. Wenn der große Zeiger der Uhr über einen der zwölf Stifte auf dem Zifferblatt hinweggeht, wird der Strom nach je einer Klemme aller acht Windrichtungsfedern geleitet. Er kann aber nur durch den Elektromagneten gehen, auf dessen Kontaktknopf in der Fahne der Schleifkontakt liegt, da er nur dann zu dem anderen Pol der Batterie zurückkehren kann. Steht der große Zeiger der Uhr auf 0^h , so wird auch der Stundenmarkenstift berührt und man sieht, daß dann der Strom durch die Spulen des letzten Elektromagneten am Registrierzylinder gehen muß.

Gibt das Anemometer Kühne Kontakt, so wird der Strom durch das Zählwerk geschlossen. Hat das erste Zählrad eine Umdrehung gemacht und drückt es die Hebel K_1 zusammen, so wird ein Stromkreis geschlossen, welcher durch den neunten Elektromagneten geht. Wenn aber das zweite Zählrad nach je einer halben Umdrehung die Hebel K_2 zusammendrückt, geht der Strom durch den zehnten Elektromagneten. Endlich sieht man, daß bei dem Kontakt des Anemometer Fuß der Strom durch den elften Elektromagneten gehen muß.

Bei allen Elektromagneten ist der Strombedarf für sichere Funktion ermittelt worden. Die im Bild 14 oben rechts ersichtlichen Widerstände sind so bemessen worden, daß in allen Stromkreisen diese Stärken mindestens auftreten. Die Zuleitungsdrähte von der Batterie treten im Bild 14 unten rechts ein, wo sich ein Kommutator befindet, so daß man die Stromrichtung von Zeit zu Zeit umschalten kann. Dort ist auch ein Ampèremeter in den Hauptkreis vor Kommutator und Verzweigungen zur Kontrolle der Stromstärke eingeschaltet worden. Zu erwähnen ist noch, daß in die zu den Kontakten führenden Drähte Klemmen eingesetzt wurden, durch deren Verbindung der Strom jederzeit geschlossen werden kann, so daß es möglich ist, die Wirksamkeit eines jeden Stromkreises stets zu untersuchen. In der Zeichnung sind diese weggelassen worden; im Bild 14 sind vier derselben an der Bank unter dem Zählwerk zu sehen.

Fig. 8 ist ein Lichtbild des Registrierstreifens vom 28. Februar 1917 10^h bis 1. März 1917 22^h . Die vertikalen Stundenlinien werden erst nach Ab-

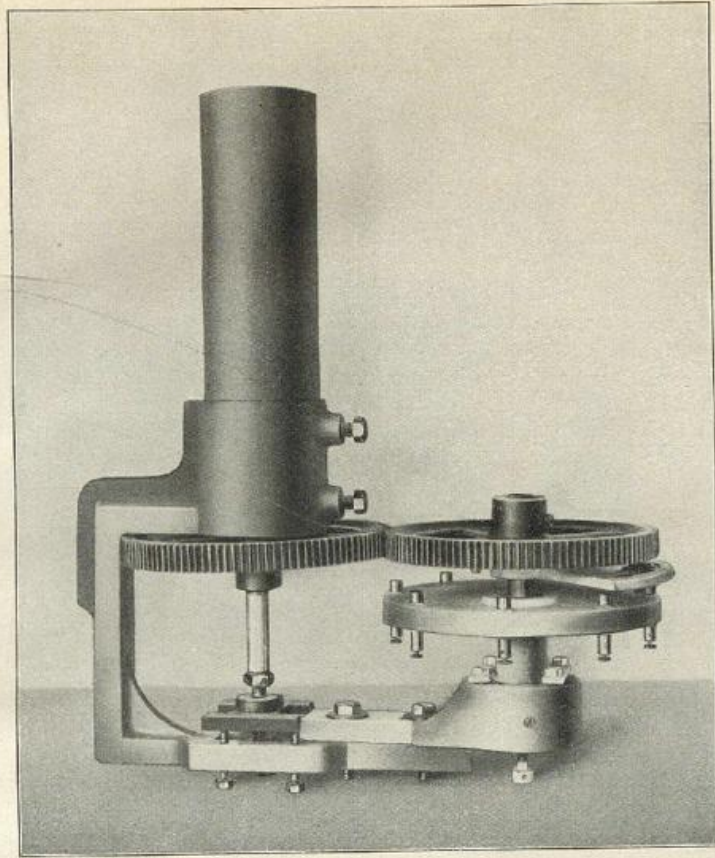
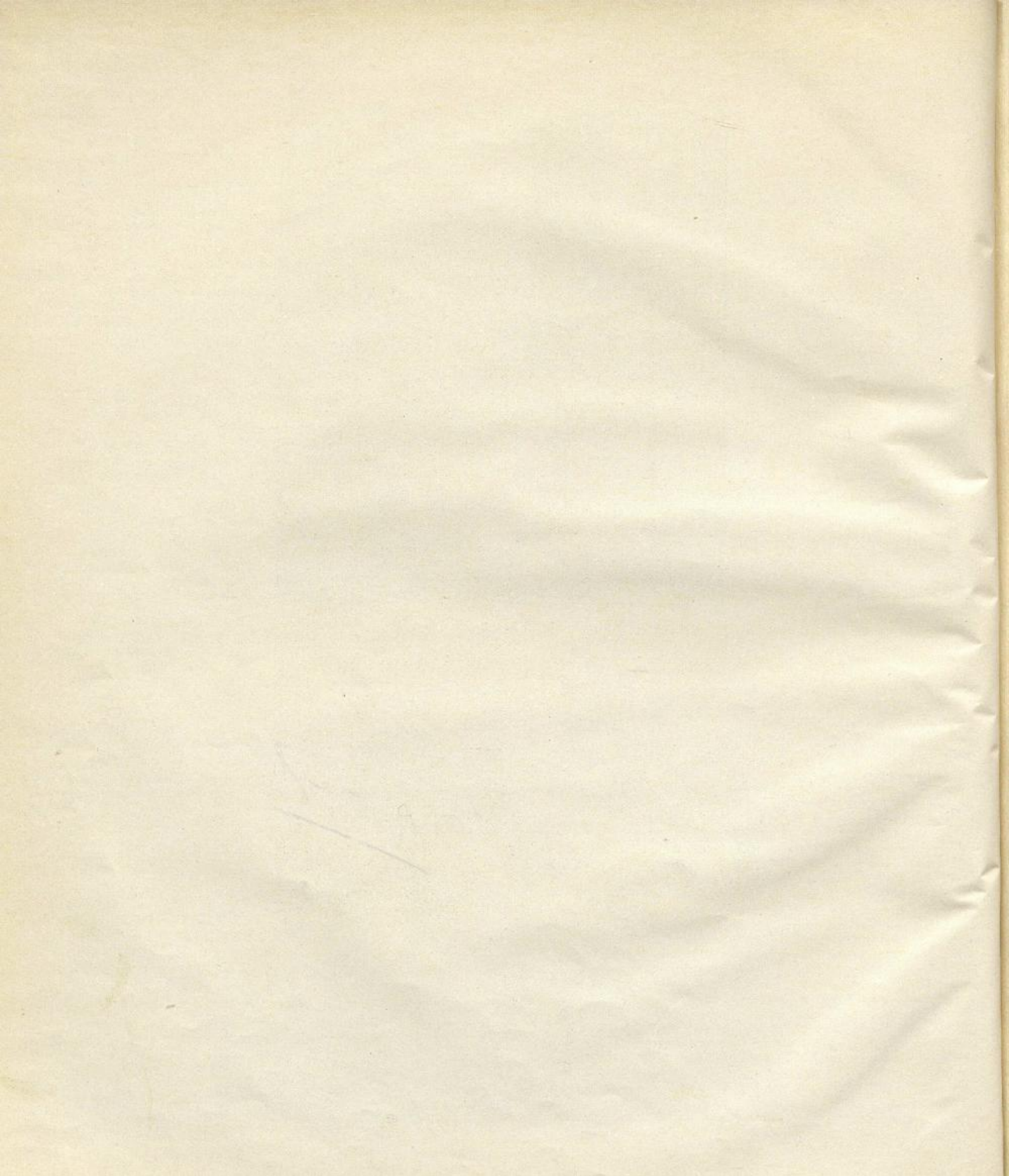


Fig. 5



Fig. 6



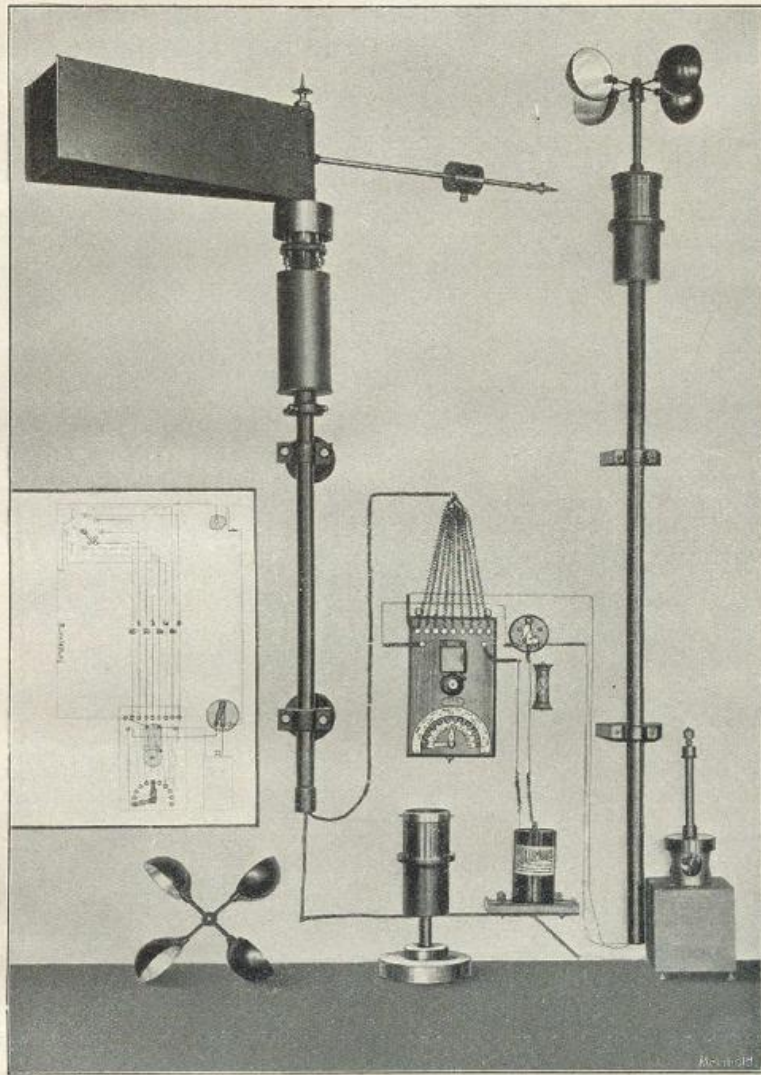
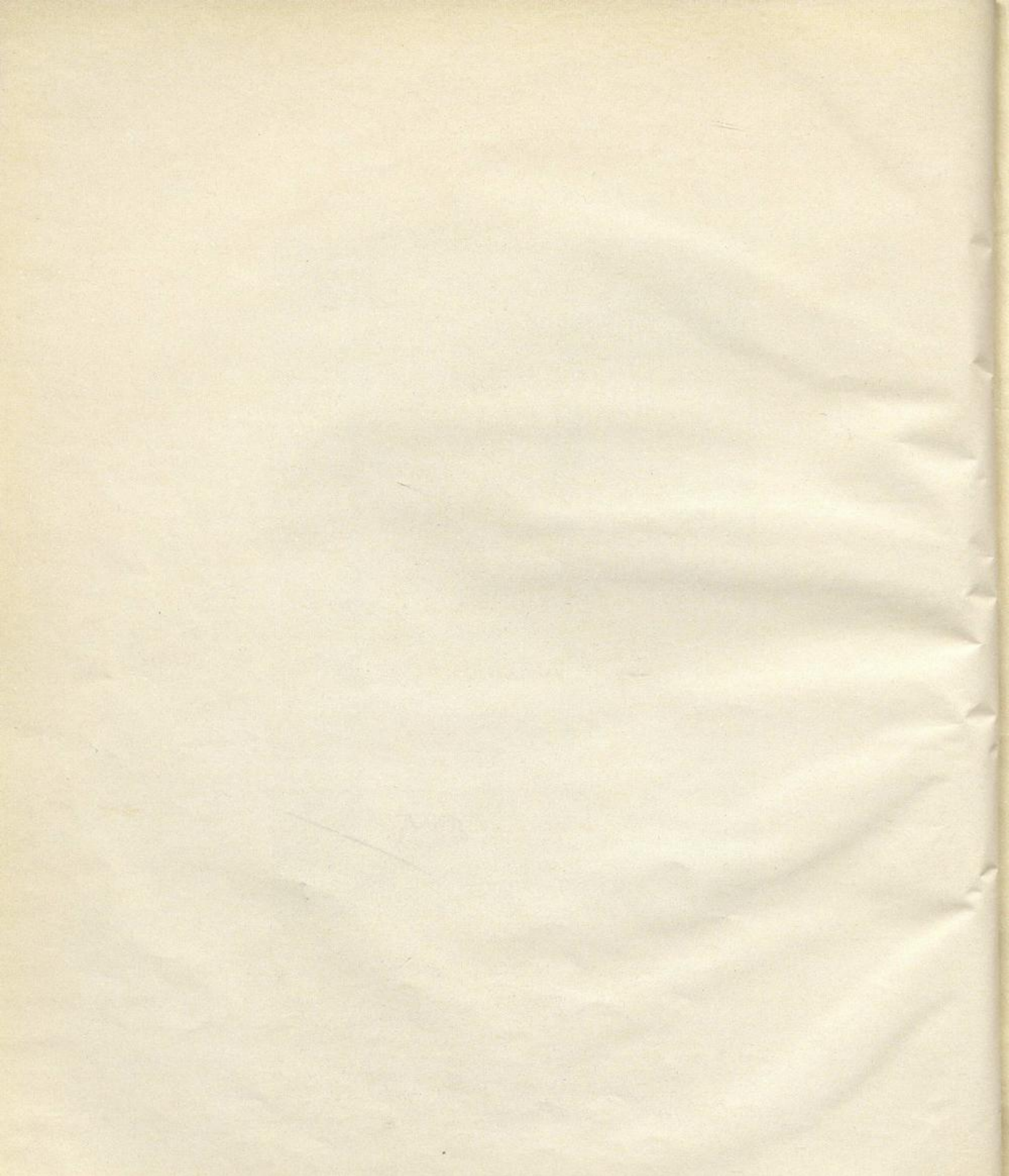


Bild 10



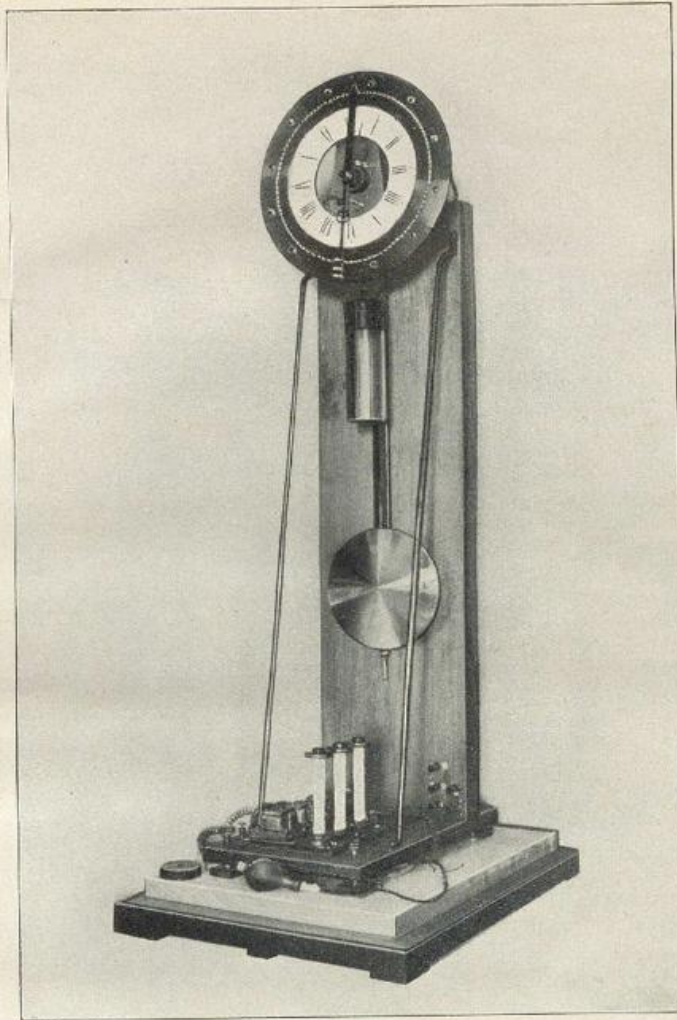


Bild 13

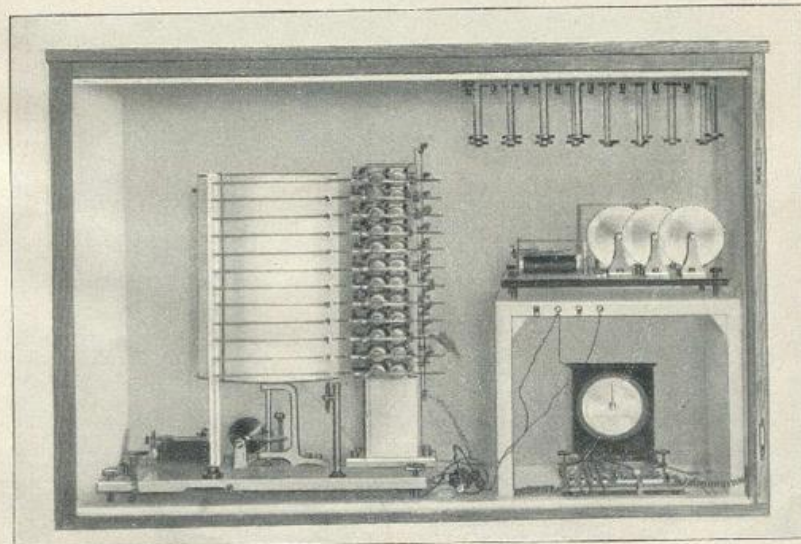


Bild 14

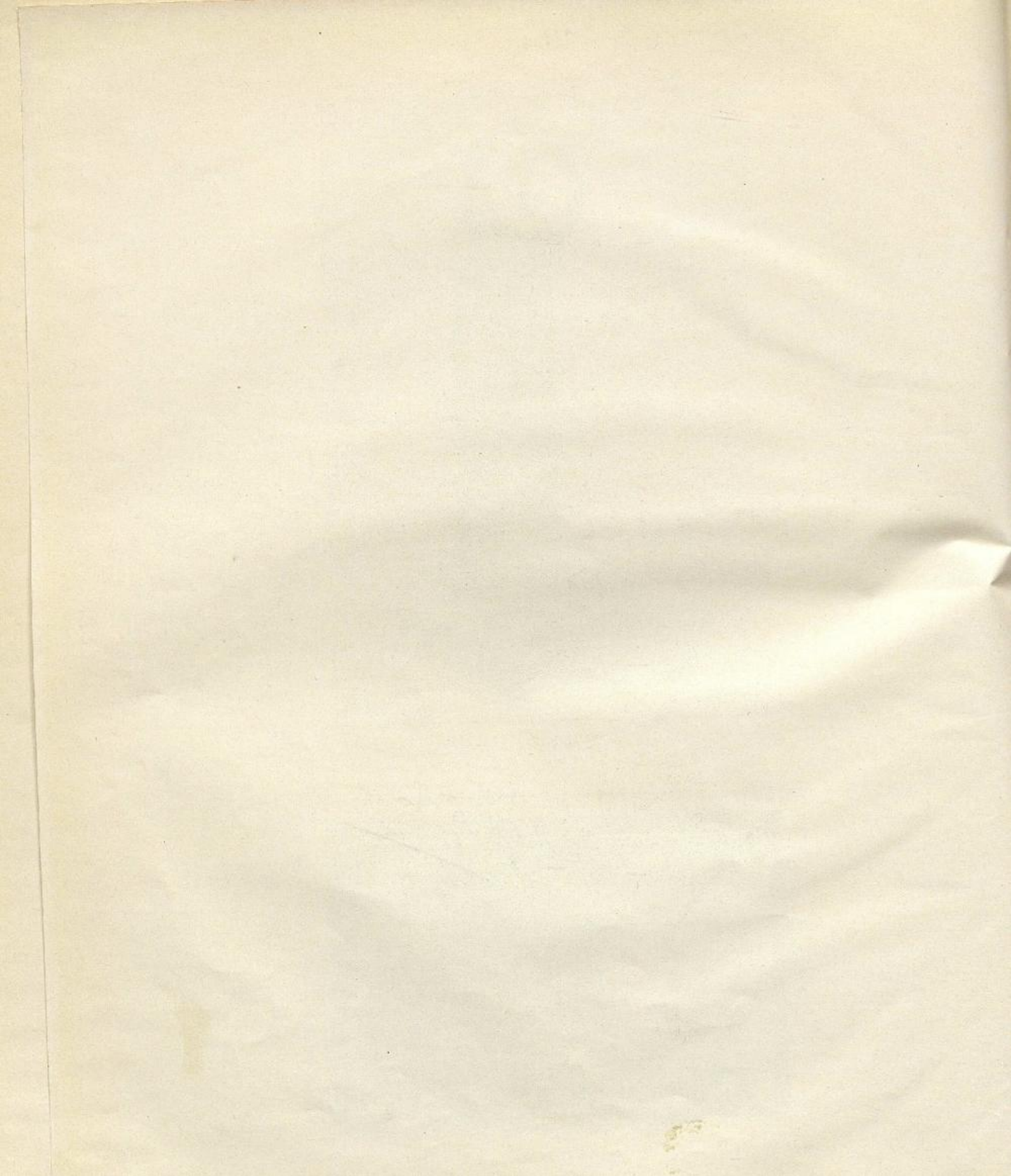
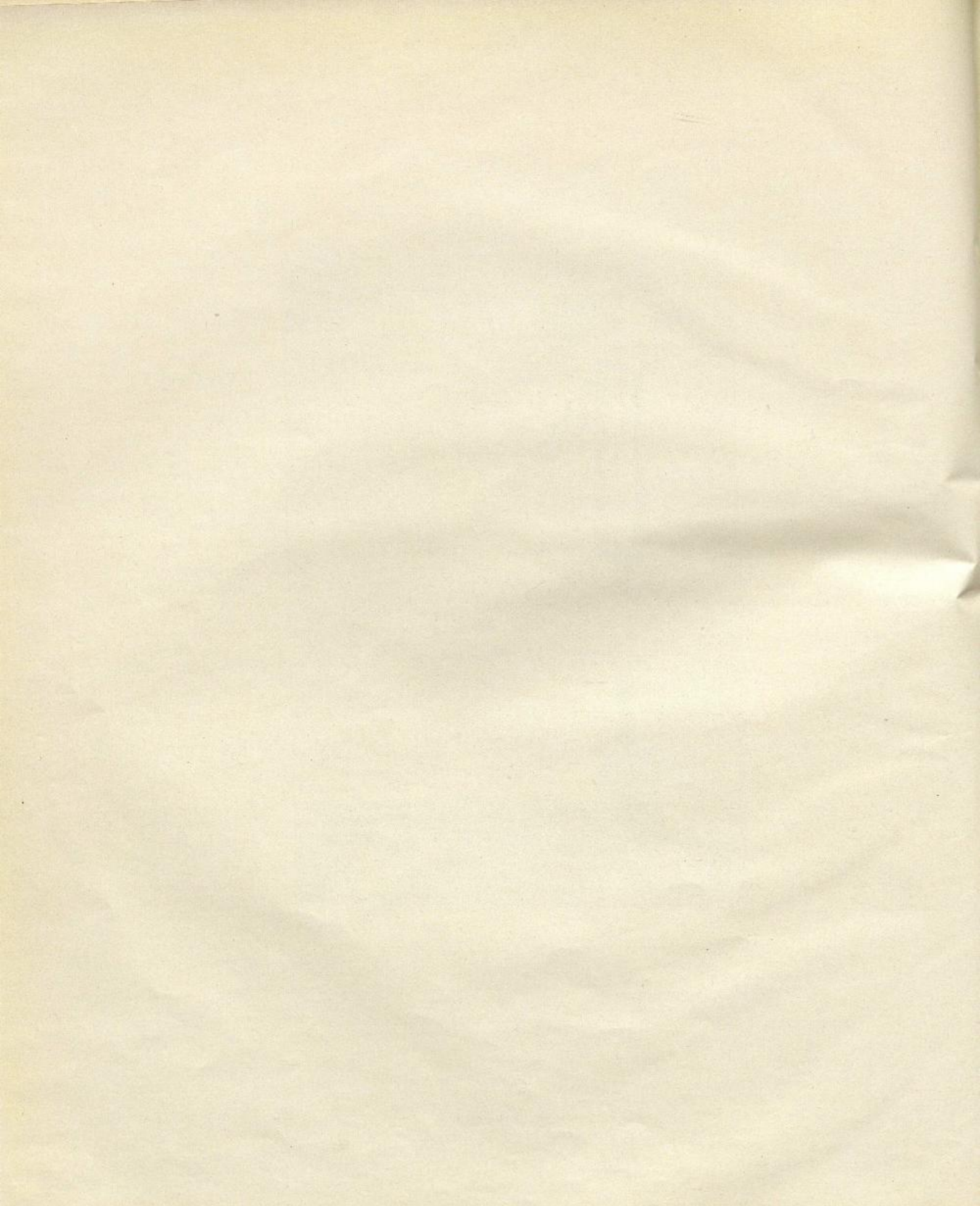




Fig. 7



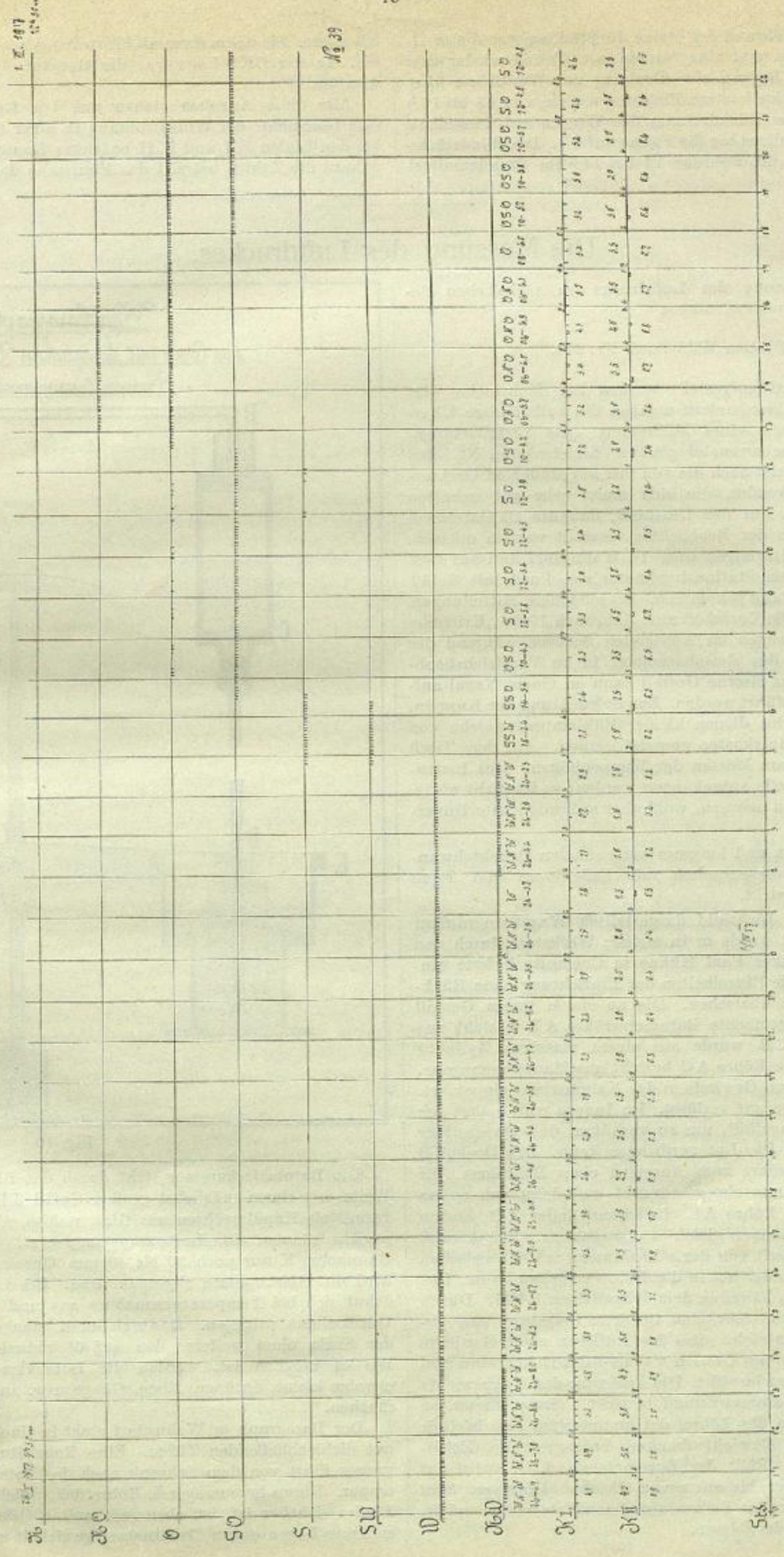


Fig. 8

nahme der Streifen gezogen. Während der ersten 15 Stunden war die mittlere Windrichtung WNW. Dann trat eine Stunde mit W und wieder drei Stunden mit WNW ein. Nun begann eine Drehung der Windfahne über Süd und Ost bis nach ONO. Diese letztere Richtung währte von 13 bis 17^h am 1. März. Alsdann fand eine Rückdrehung des Windes auf demselben Weg statt, bei Abnahme des Streifens lag die Fahne auf SO. Die Windstärke war anfangs ziemlich groß, am 28. Februar 13 bis 14^h im Stundenmittel

8.7 m/sec. Sie nahm dann ab bis zu 2.0 m/sec und dann trat die Winddrehung ein. In der ONO-Lage war die Geschwindigkeit des Windes wieder über 6 m/sec.

Alle diese Angaben stehen auf den Registrierstreifen, welche sonach eine Geschichte der Windströmung in allen Einzelheiten liefern. Die Zahlen bei den Linien K I und K II bedeuten Kontakte in einer Stunde, es müssen nahezu die Zahlen bei K I das Fünffache der bei K II sein.

Die Messung des Luftdruckes.

Den Instrumenten zur Messung des Luftdrucks im sächsischen Beobachtungssystem dient als Normalinstrument

das Barometer System Wild-Fueß Nr. 274.

welches an der Zentralstelle fest aufgestellt worden ist. Mehrfache Vergleichen mit anderen Normalbarometern ergaben die vollständige Übereinstimmung in den Hundertsteln eines Millimeters. Als Vermittlungsinstrument dient das ältere Reisebarometer gleicher Konstruktion Nr. 163. Als Stationsbarometer werden meist noch die von mir abgeänderten Greiner'schen Mikroskopbarometer verwendet, die sich meist sehr gut gehalten haben. Gegen dieselben spricht nur der Umstand, daß die Okularröhren der Mikroskope nach den Augen der Beobachter verstellt werden müssen, was fast stets die Ursache von Störungen war. In Wahnsdorf und auf dem Fichtelberg sind die gewöhnlichen Stationsbarometer von Fueß mit Gefäß und reduzierter Skala in Anwendung gekommen. Eingehendere Mitteilungen über diesen Gegenstand enthält die Vorarbeit zum Jahrbuch 1900: „Kritische Bearbeitung der Luftdruckmessungen im Königreich Sachsen während der Jahre 1866/1900.“ Fig. 9 zeigt das Reisebarometer in zu Vergleichsbeobachtungen fertigem Zustand. Das eiserne Gestell kann an einem Nagel aufgehängt und in einer Kiste mitgeführt werden. Zur Beleuchtung der Kuppen, des Thermometers und des Nonius dienen kleine Glühlampen, welche von einer Trockenbatterie in einem Holzkasten gespeist werden. Auf dem Tisch liegen noch die Vorrichtungen zum Messen der Kuppenhöhen. Das Instrument kann an jeder günstigen Stelle aufgehängt werden; es ist nicht nötig, auf Lichtverhältnisse Rücksicht zu nehmen, wohl aber auf möglichste Unveränderlichkeit der Temperatur.

Die Registrierung der größeren und langsam verlaufenden Druckschwankungen wird durch einen Tagesbarographen mit Federdosen von Fueß und einen Wagebarographen bewirkt.

Den im Bild 16 nach einem Lichtbild dargestellten Wagebarographen habe ich konstruiert. Hergestellt wurde er in meiner Werkstatt durch den Mechaniker Windel; der Mechaniker Paul Kühne in Chemnitz lieferte einzelne Teile hierzu. Fig. 10 läßt die Einzelheiten der Einrichtung ohne Rücksicht auf die Größenverhältnisse übersehen. Die an einem festen Gestell aus Band- und Winkelleisen festgemachte Barometerrohre AB besteht aus Eisen. Die Barometerkammer CB wurde aus einem massiven Zylinder genau zylindrisch ausgebohrt. Die Röhre AC besteht aus Mannesmannrohr. Sie wurde erst mit strenggehendem Gewinde in das Kammerrohr eingesetzt. Der untere Teil wurde dann außen gut verlötet. Im Innern wurde aber der Hohlraum mit Siegellack gut ausgefüllt, um zu verhüten, daß Quecksilber durch das Gewinde zu dem Zinn-Blei-Lot vordringen kann. Der Deckel B trägt in der Mitte eine Messingröhre zum Ansetzen eines Bleirohres. Er wird mit Gewinde auf das Kammerrohr geschraubt und dann von außen gut verlötet. Unten ist über die Röhre AC ein Eisenzylinder AD, dessen Durchmesser genau dem der Kammer gleich ist, geschoben. Bei A muß dieser ausgedreht sein, da sonst Luft von der sehr dünnen Schicht zwischen der Barometerrohre und dem Zylinder her in die Röhre gelangen kann. Der Trog, in welchen die Röhre taucht, hängt an dem Wagebalken EFG. Durch die Form des Wagebalkens wird erreicht, daß für jede Belastung eine bestimmte Gleichgewichtsstellung entsteht, also das Anfliegen eines Gewichts auf den Trog einen von der Größe des Gewichts G und dessen Abstand von der Drehachse abhängigen Ausschlag bewirkt. Die Änderung des Troggewichts wird durch eine Änderung im Barometerstand bewirkt. Steigt dieser, so tritt Quecksilber aus dem Trog in die Röhre, der erstere wird also leichter und steigt an, bis die durch die Gewichtsabnahme bedingte neue Gleichgewichtslage erreicht worden ist. Fällt der Barometerstand, so wird der Trog schwerer und er sinkt nieder bis zur neuen Gleichgewichtslage. Man kann also an der Skala, vor der der Zeiger auf dem Wagebalken spielt, ohne weiteres die Barometerstände ablesen.

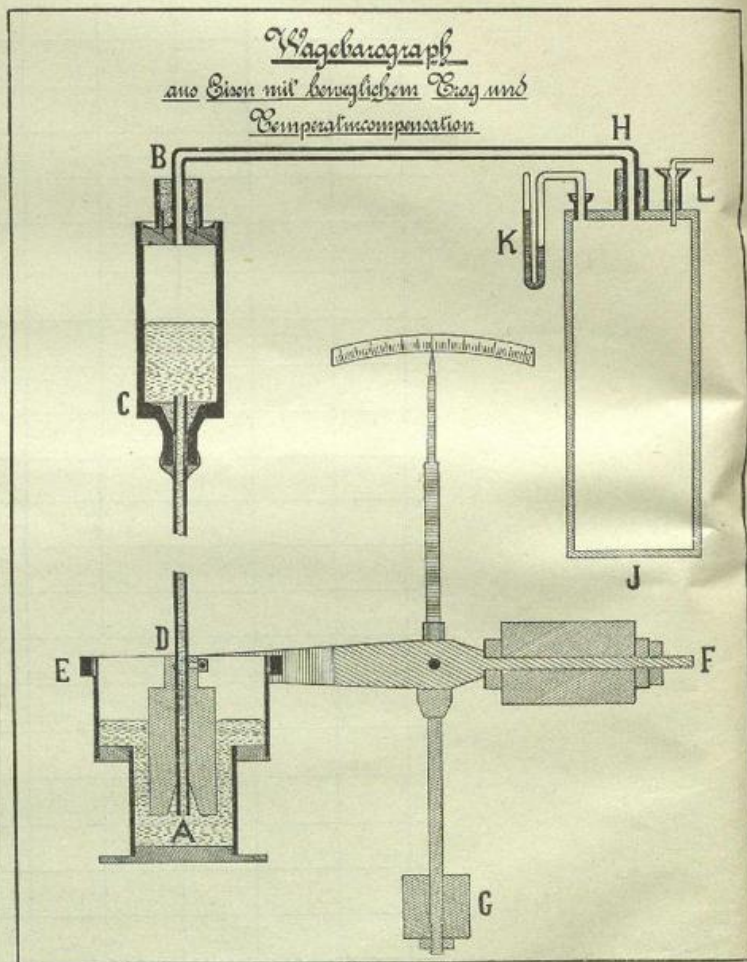


Fig. 10

Die Barometerkammer steht durch das Bleirohr BH von 4 mm lichter Weite mit einem möglichst großen Gefäß JH in Verbindung. Bei L wird mittels Kapillarröhren aus Glas, welche mit Siegellack leicht angebracht werden können, eine Luftpumpe angesetzt. Es wird ausgepumpt, bis das Barometer K nur noch 30 bis 40 mm Quecksilbersäule Druck zeigt. Dann wird die Glaskapillare abgeschmolzen. Die Luft in der Barometerkammer dehnt sich bei Temperaturzunahme aus und wirkt so der Ausdehnung des Quecksilbers entgegen. Dadurch kann man erreichen, daß der Zeiger an der Skala ohne weiteres den auf 0° reduzierten Barometerstand angibt. Wo es möglich ist, werden die Lotstellen mit Vaseline umgeben, um etwaige kleine Sprünge, Risse, Gänge usw. in der Lotmasse unschädlich zu machen.

Der Barograph in Wahnsdorf steht in einem Glasschrank mit möglichst gut dichtschießenden Türen. Eine Rohrleitung von etwa 30 mm Durchmesser führt von dem Schrank nach der Terrasse und ragt 1 m über diese empor. Dieses herausragende Rohrstück, welches auf Bild 8 vor dem hinteren Pfeiler sichtbar ist, ist oben mit weiten Öffnungen versehen, über welche mehrere Lagen engen Drahtnetzes gewickelt sind. Es soll durch diese Vor-

richtung bewirkt werden, daß die Spannung der Luft im Barometerschrank genau mit dem statischen Druck der Atmosphäre übereinstimmt, es sollen alle Stau- und Saugwirkungen, die Einwirkungen des Öffnens und Schließens von Türen und Fenstern unschädlich gemacht werden.

Der Barograph zeichnet die Schwankungen des Luftdruckes in nahezu dreifacher Vergrößerung auf. Die Reibungswiderstände können gleich Null angenommen werden, da nach jeder Ablenkung sich das Instrument in genau gleicher Höhe wieder einstellt. Es wird sonach allen langsamen Druckschwankungen genügend genau folgen und nur sehr rasche Änderungen werden nicht instande sein, die großen Massen rasch genug in Bewegung zu setzen. Im allgemeinen stellen die Aufzeichnungen des Barographen glatt verlaufende Kurven vor. Es treten aber oft Fälle ein, in denen das

Barometer unruhig wird. In Fig. 11 sind einige solcher Fälle dargestellt worden. Die Aufzeichnungen wurden so genau als möglich durchgepaust und die Pausstreifen wurden auf Papier geklebt, das mit Linien im Abstand von 1 mm Barometerstandsänderung überdeckt worden war. Die Unruhe tritt bei böigem Sturm, Regenschauern, nahen und fernen Gewittern auf. Eigentümlich sind die langen verwaschenen Streifen, wie z. B. am 22. 6. 17 und 15. 8. 17. Ich vermute, daß diese dann auftreten, wenn die Periode der Druckschwankungen in einem einfachen Verhältnis zu der Schwingungsdauer des Instrumentes steht.

Die Anstellung der Instrumente zur Aufzeichnung der kleinen rasch verlaufenden Druckschwankungen muß auf spätere Zeiten verschoben werden.

Die Messung der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft.

Die zur Messung der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft dienlichen Instrumente befinden sich in Jalousienkästen von 1 m Länge, Breite und Höhe. Auf dem Fichtelberg ist dieser Kasten noch durch einen Umbau vor Schnee und Eis geschützt worden. Die Einrichtung in Wahnsdorf ist aus Bild 17 zu ersehen. Das Dach ist doppelt. Zwischen dem äußeren mit Zink abgedeckten und weit übergreifenden Dach und dem eigentlichen Dach des Jalousienkastens befindet sich eine Luftschicht.

Zur Temperaturmessung werden Thermometer von H. R. Lindenlaub in Schmiedefeld (Kreis Schleusingen) verwendet. Psychrometer- und Minimalthermometer haben die gewöhnliche Einrichtung; es ist nur zu erwähnen, daß die Röhren prismatischen Querschnitt haben und so bei einer bestimmten Lage sehr breite Bilder der Flüssigkeitsfäden und der Stäbchen geben, die auf große Entfernung hin gut zu erkennen sind.

Die Maximalthermometer hat Lindenlaub nach meinem Vorschlag unter Verwendung einer von dem Oberlehrer Killge in Hohenstein-Ernstthal herührenden Idee hergestellt. Bei denselben wird durch das Quecksilber ein Glasstift vorgeschoben und bleibt bei dem höchsten Grad liegen. Das wäre also die erste alte Einrichtung der Maximalthermometer. Der Unterschied ist nur der, daß der Stift nicht in der leeren Röhre, sondern in einer vor dem Quecksilber befindlichen Alkoholsäule (wie bei den Sixthermometern) liegt. Ich habe diese Instrumente seit vielen Jahren an fast allen Stationen. Die Stifte kommen nicht in das Quecksilber, sie bleiben gut liegen. Die in das Quecksilber eindringenden Alkoholtropfen lassen sich auf der Rotationsmaschine bequem wieder herausbringen.

Bezüglich der Messung der Luftfeuchtigkeit wird die Erwähnung der Hauptsachen genügen. Das gebräuchlichste Instrument ist das von August erfundene Psychrometer. Es besteht dies aus zwei genau übereinstimmenden Quecksilberthermometern. Das Gefäß des einen dieser Thermometer wird mit einem Wasser gut ansaugenden Gewebe überdeckt. Das befeuchtete Thermometer kühlt sich durch Verdunstung des Wassers um so mehr ab, je trockener die Luft ist. Aus der Differenz des trockenen und feuchten Thermometers (Psychrometrische Differenz) wird die in Millimetern Quecksilbersäule ausgedrückte Spannung des in der Luft befindlichen Wasserdampfes s erhalten. Diese kann höchstens gleich der bei der Lufttemperatur $t^{\circ}C$ möglichen Sättigungsspannung S sein. Der Wert von S kann mit dem Argument t einer der Tabellen der Spannung des gesättigten Wasserdampfes entnommen werden. Das Verhältnis

$$r = 100 \cdot \frac{s}{S}$$

wird die relative Feuchtigkeit der Luft und s wird meist die Dunstspannung genannt. Ist also $t^{\circ}C$ die Lufttemperatur, t_1 der Stand des feuchten Thermometers, S_1 die zu dieser Temperatur gehörige Sättigungsspannung und b der Barometerstand, so werden einfach und ausreichend die Formeln

$$s = S_1 - K (t - t_1) b \quad r = \frac{s}{S}$$

zur Berechnung von s und r angewendet werden können. Die Größe K ist von der Stärke der Luftbewegung um das Instrument abhängig und ist bei

geringer Bewegung größer als bei starkem Wind zu nehmen. Nach Regnault kann man rechnen

$$\begin{aligned} K &= 0.001 \text{ in geschlossenen Räumen,} \\ &= 0.0009 \text{ bis } 0.0007 \text{ in geschützten Orten, Höfen, Tälern usw.,} \\ &= 0.0008 \text{ bis } 0.0006 \text{ im Freien, wenn die Windgeschwindigkeit} \\ &\text{ nicht größer als } 5 \text{ m/sec ist.} \end{aligned}$$

Für das Abmannsche Aspirationspsychrometer wird

$$K = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{755} = 0.00066$$

gerechnet. Meist genügt $Kb = 0.5$.

Die relative Feuchtigkeit ist eigentlich ein Element für sich. Die Menge Wasserdampf, welche die sogenannten hygroskopischen Körper aus der Luft entnehmen und aufsaugen, hängt nur von r , nicht aber von s und t ab. Die Gewichtszunahme, Gestalts- und Längenänderung dieser Körper wird allein durch die relative Feuchtigkeit der Luft bedingt und man kann sonach mit Hilfe dieser ersteren Vorgänge die relative Feuchtigkeit bestimmen. Gewöhnlich wird die Längenänderung gut entfetteter Haare hierzu verwendet. Die Haarhygrometer kommen unter verschiedenen Namen im Handel vor und werden fast allein zur Registrierung der Luftfeuchtigkeit verwendet. Man hat nur zu beachten, daß sie den Wert r ergeben und man daraus

$$s = \frac{r}{100} S$$

zu berechnen hat.

In dem Jalousienkasten befinden sich sonach zu den direkten Beobachtungen das trockene und das feuchte Psychrometerthermometer, ein Maximal- und ein Minimalthermometer, außerdem aber noch ein Thermograph mit Bourdonscher Röhre und ein Haarhygromet, beide von der Firma R. Fueß in Stäglitz-Berlin.

Eine wichtige Frage war die, ob die Vorrichtungen wirklich die Lufttemperatur angeben, oder ob die Holzmassen der Jalousienkästen und der sonstigen zu ihrer Aufstellung nötigen Gegenstände einen Einfluß ausüben. Was eigentlich die wahre Lufttemperatur an einer Stelle der Atmosphäre ist und wie man dieselbe sicher bestimmen kann, wissen wir noch nicht. Alle Thermometer müssen gegen Strahlung, Regen, Schnee usw. geschützt werden und alle diese Schutzvorrichtungen müssen die Temperatur der Luftmassen beeinflussen. Wahrscheinlich hängt dieser Einfluß von der Geschwindigkeit der Luftbewegung ab und wird um so kleiner sein, je größer diese ist. Gegenwärtig betrachtet man die Angaben eines Abmannschen Aspirationspsychrometers (R. Fueß) als die richtigen und es mußte deshalb eine eingehende Vergleichung der gleichzeitigen Ablesungen an einem Aspirationspsychrometer im Freien und den Instrumenten in den Jalousienkästen, welche man gewöhnlich Thermometerhütten nennt, stattfinden. Auf dem Fichtelberg wurden diese Vergleichsmessungen fast 1 1/2 Jahr lang täglich dreimal ausgeführt.

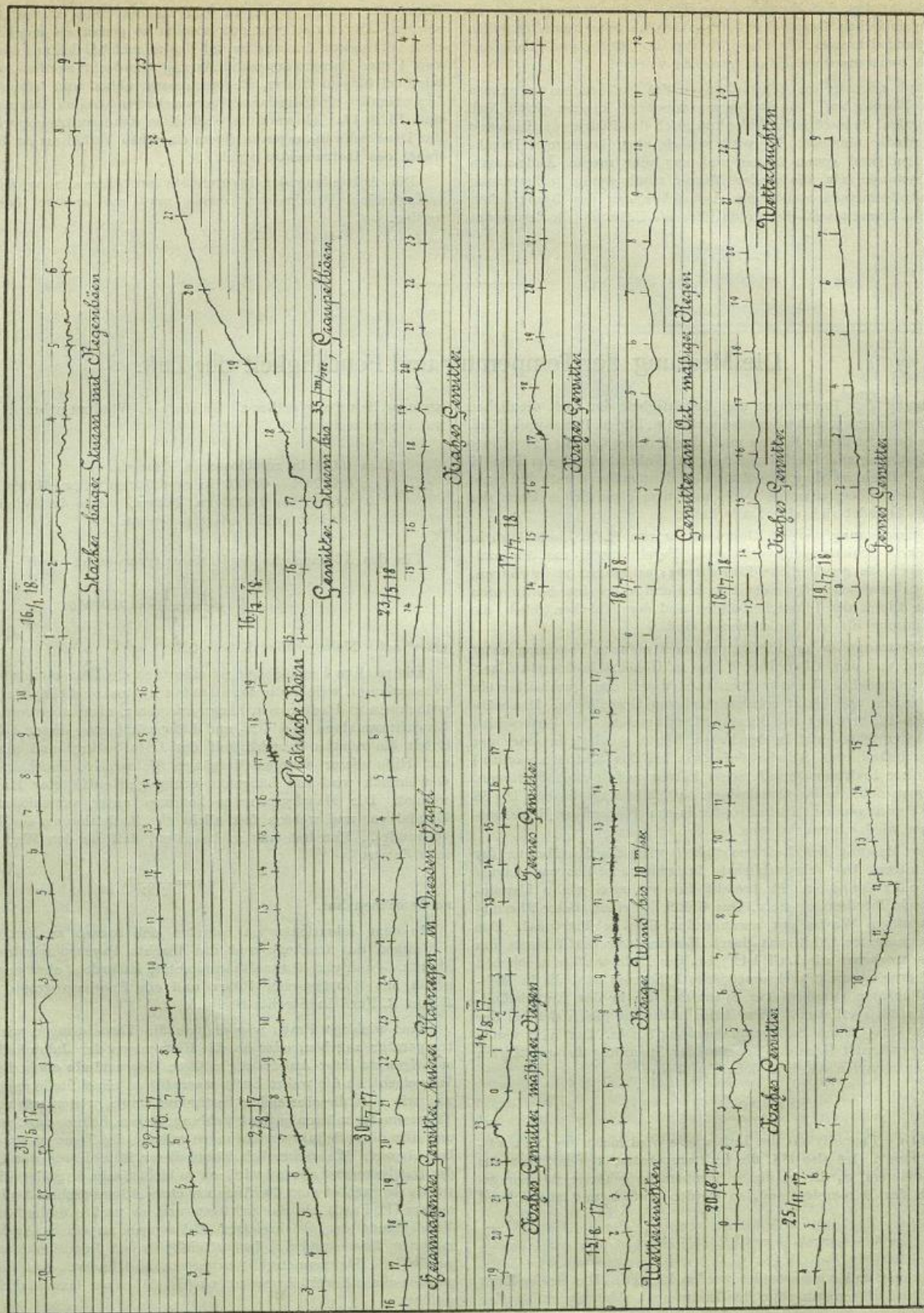


Fig. 11

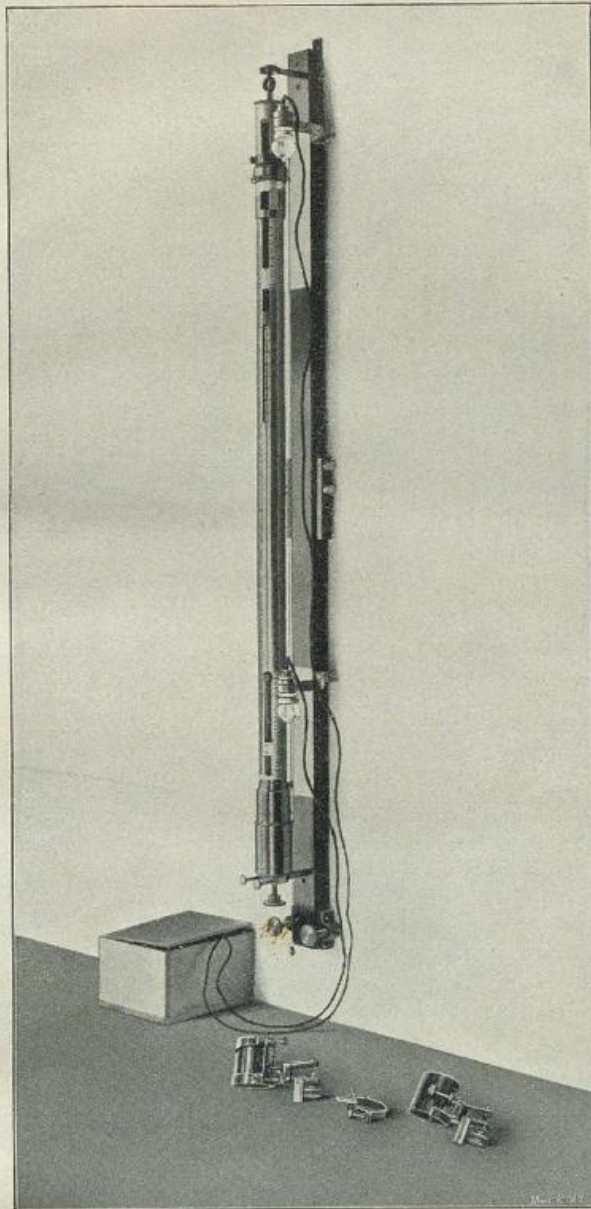
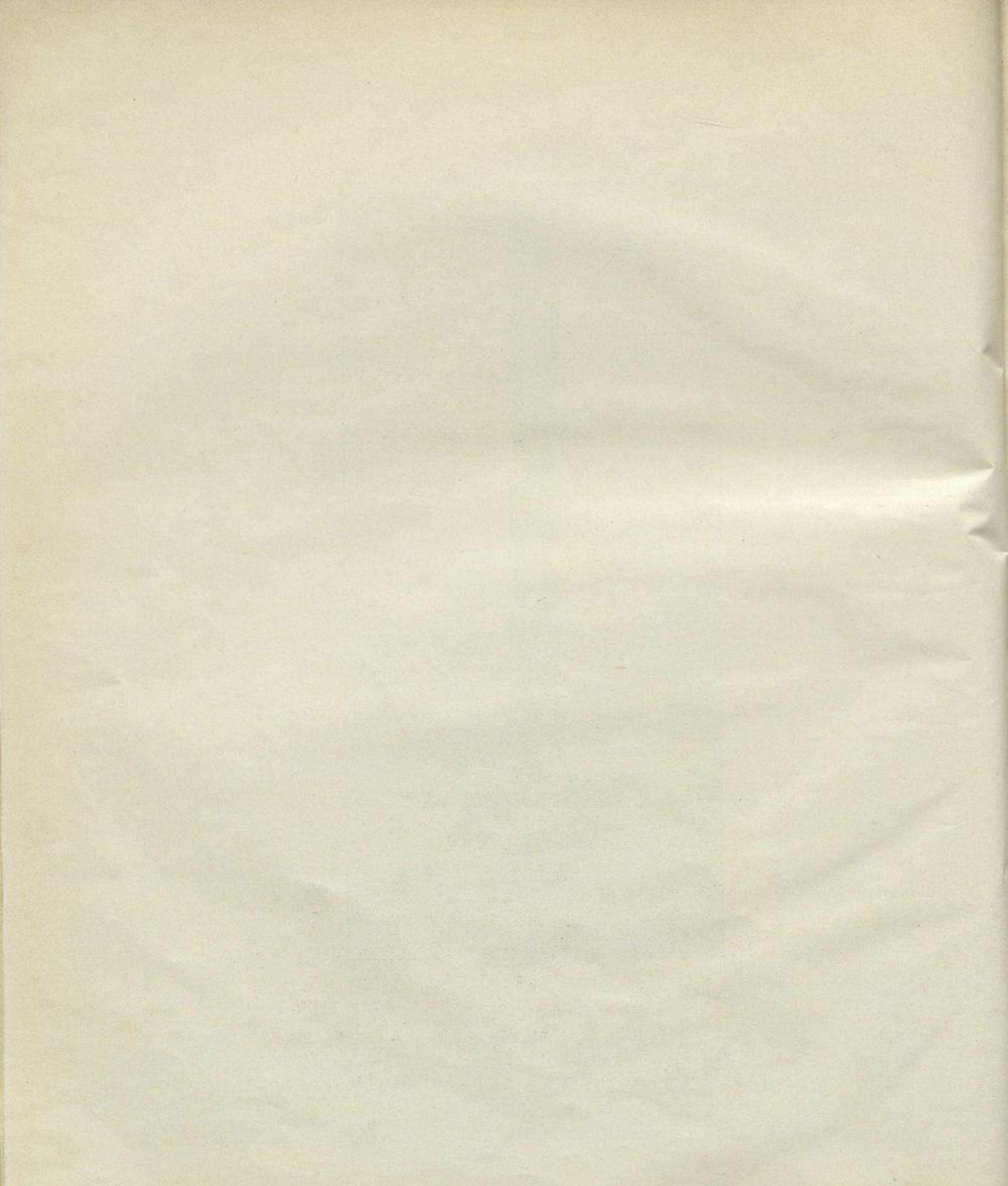


Fig. 9



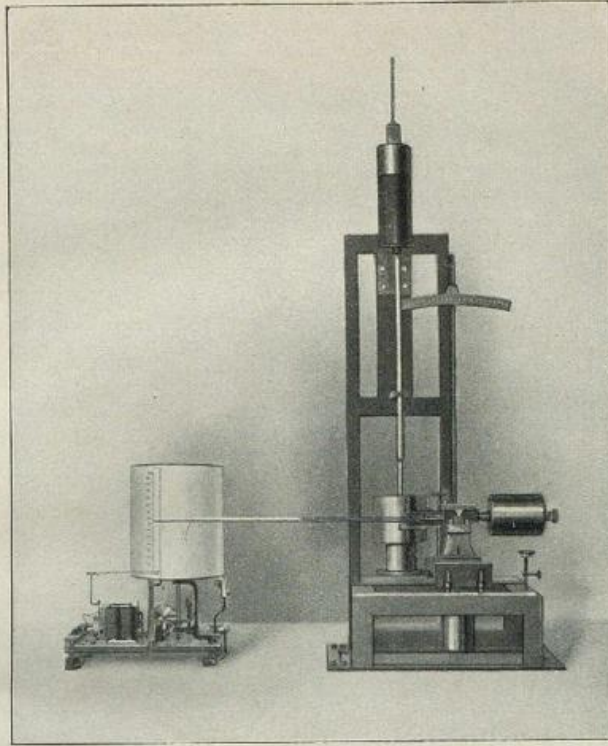


Bild 16

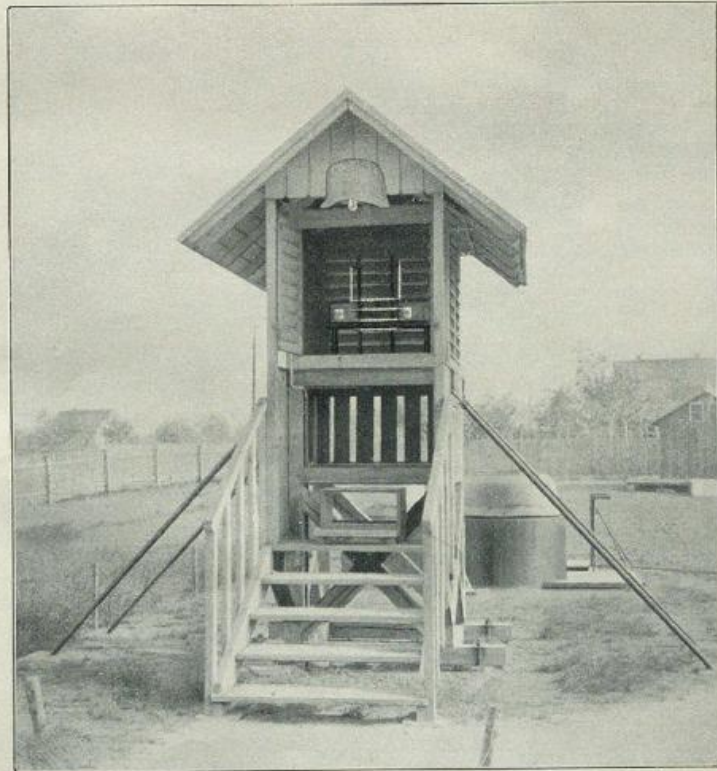
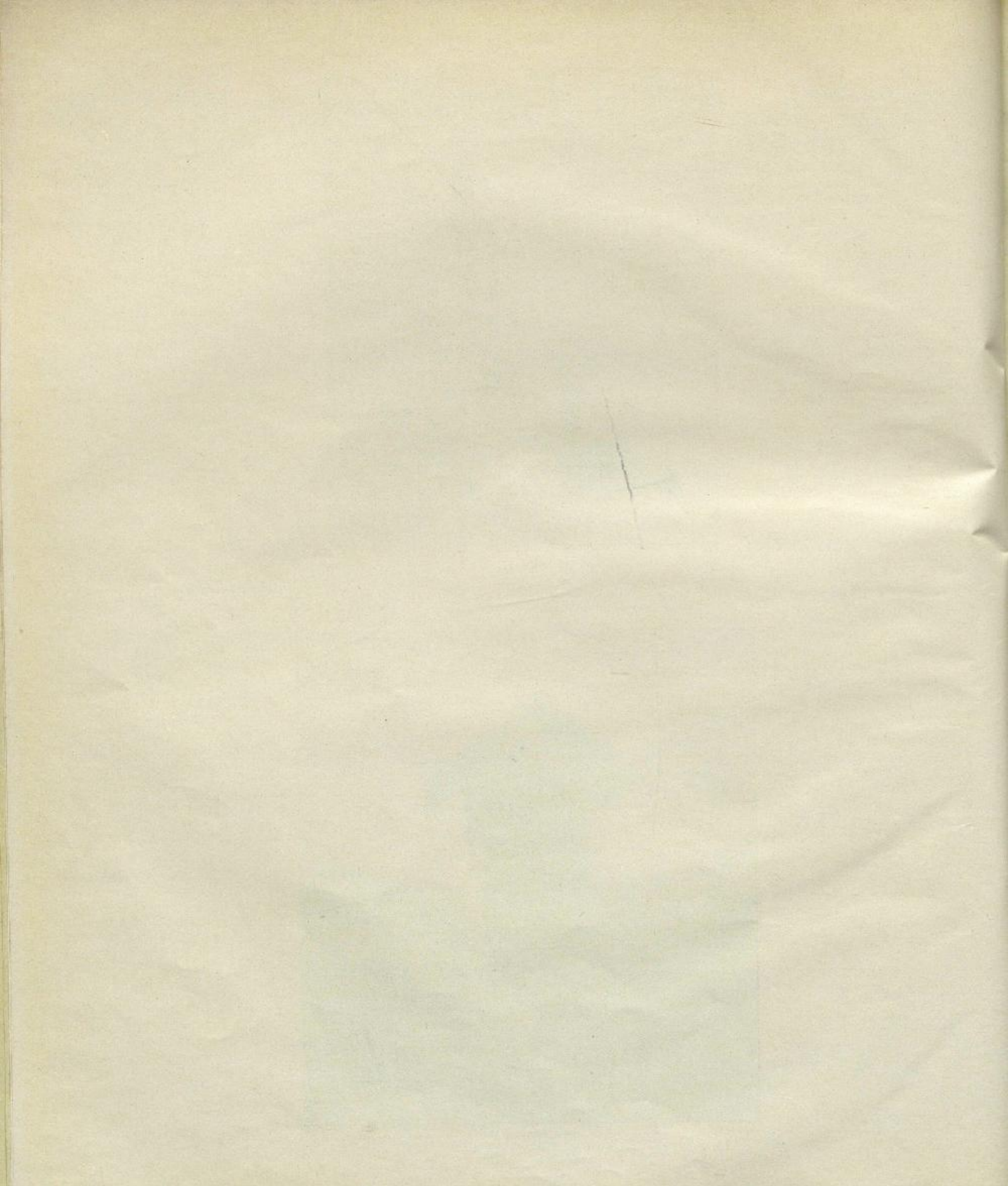


Bild 17



Vergleichende Messungen der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft in der Thermometerhütte und mit dem Aspirationspsychrometer auf der Terrasse auf dem Fichtelberg.

Jahr Monat	Morgenbeobachtung				Nachmittagsbeobachtung				Abendbeobachtung			
	Aspir.- Psychro- meter	Aspir.-Psychrometer — Hütte			Aspir.- Psychro- meter	Aspir.-Psychrometer — Hütte			Aspir.- Psychro- meter	Aspir.-Psychrometer — Hütte		
		Mittel	Max. +	Max. —		Mittel	Max. +	Max. —		Mittel	Max. +	Max. —
a) Temperatur der Luft in Celsiusgraden.												
1916 August	8.87	+ 0.05	0.3	0.2	11.66	+ 0.10	1.2	0.8	9.69	+ 0.02	0.4	0.4
September	5.34	+ 0.03	0.4	0.1	8.24	+ 0.01	0.5	0.5	6.09	— 0.01	0.1	0.3
Oktober	1.76	+ 0.10	0.8	0.3	3.34	+ 0.05	0.8	0.4	2.19	+ 0.03	0.5	0.1
Dezember	— 3.61	— 0.02	0.8	0.5	— 2.86	+ 0.03	0.4	0.3	— 2.84	+ 0.08	0.8	0.2
1917 Januar	— 8.50	0.00	0.6	0.4	— 7.80	+ 0.05	0.6	0.4	— 8.33	+ 0.02	0.7	0.2
Februar	— 7.45	+ 0.26	1.9	0.3	— 5.64	+ 0.22	1.6	0.3	— 7.55	+ 0.11	1.8	0.2
März	— 7.38	+ 0.02	1.2	0.3	— 5.56	+ 0.07	1.2	0.3	— 6.34	0.00	0.3	0.3
April	— 3.65	+ 0.03	0.9	0.3	— 1.22	+ 0.16	1.0	0.6	— 2.32	+ 0.02	0.4	0.1
Mai	+ 6.53	0.00	0.3	0.3	+ 11.22	+ 0.04	0.8	0.7	+ 8.87	— 0.01	0.4	0.3
Juni	11.42	— 0.07	0.6	0.5	15.94	+ 0.02	0.6	0.7	13.45	— 0.13	0.1	0.6
Juli	9.72	— 0.02	0.2	0.4	14.01	+ 0.15	1.0	0.7	11.97	— 0.08	0.5	0.6
August	9.63	— 0.01	0.1	0.2	12.86	— 0.10	0.2	0.6	10.88	— 0.06	0.2	0.3
Mittel	+ 1.89	— 0.03	1.9	0.5	+ 4.52	+ 0.07	1.6	0.8	+ 2.98	— 0.00	1.8	0.6
b) Dunstspannung in Millimetern Quecksilbersäule.												
1916 August	7.44	— 0.12	0.2	0.8	8.07	— 0.03	0.3	0.4	7.89	— 0.06	0.5	0.8
September	6.38	— 0.02	0.2	0.2	6.91	+ 0.09	0.4	0.1	6.87	+ 0.02	0.2	0.1
Oktober	5.13	— 0.08	0.1	0.4	5.61	— 0.03	0.2	0.4	5.48	— 0.04	0.1	0.2
Dezember	3.52	— 0.07	0.1	0.3	3.70	— 0.04	0.1	0.2	3.62	— 0.07	0.1	0.3
1917 Januar	2.55	— 0.02	0.1	0.2	2.63	— 0.01	0.2	0.2	2.53	— 0.02	0.1	0.1
Februar	2.39	+ 0.11	1.8	0.9	2.73	+ 0.07	1.4	0.5	2.33	+ 0.09	1.1	0.1
März	2.75	— 0.01	0.1	0.4	3.07	+ 0.03	0.5	0.2	2.95	+ 0.05	1.4	0.1
April	3.46	+ 0.02	1.0	0.2	3.79	+ 0.07	0.8	0.3	3.74	+ 0.06	0.8	0.1
Mai	6.06	+ 0.11	0.9	0.2	6.91	+ 0.34	0.9	0.3	6.85	+ 0.25	0.8	0.1
Juni	7.08	+ 0.29	0.8	0.2	7.59	+ 0.40	1.1	1.0	7.21	+ 0.34	1.1	0.1
Juli	7.71	+ 0.20	1.0	0.2	8.61	+ 0.61	1.5	0.2	8.18	+ 0.35	1.3	—
August	8.36	+ 0.03	0.3	0.6	8.83	+ 0.41	1.1	1.7	8.62	+ 0.12	0.8	0.1
Mittel und Extreme	5.24	+ 0.04	1.8	0.9	5.70	+ 0.16	1.5	1.7	5.52	+ 0.09	1.4	0.8

In der vorstehenden Tabelle sind die Monatsergebnisse vom August 1916 bis mit August 1917 mitgeteilt worden. In November 1916 war das Instrument unbrauchbar geworden, es umfassen die Beobachtungen also gerade

12 Monate. Zuerst findet man die Monatsmittel aus den Angaben des Aspirationspsychrometers. Dann folgen die Monatsmittel aus den Differenzen Aspirationspsychrometer — Hütte.

Vergleichende Messungen der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft in der Thermometerhütte und mit dem Aspirationspsychrometer in Wahnsdorf. 40 Tage, vom 1. 8. bis 6. 10. 1917.

Jahr Monat Tag	Morgenbeobachtung				Nachmittagsbeobachtung				Abendbeobachtung			
	Aspir.- Psychro- meter	Aspir.-Psychrometer — Hütte			Aspir.- Psychro- meter	Aspir.-Psychrometer — Hütte			Aspir.- Psychro- meter	Aspir.-Psychrometer — Hütte		
		Mittel	Max. +	Max. —		Mittel	Max. +	Max. —		Mittel	Max. +	Max. —
a) Temperatur in Celsiusgraden.												
1917 1. bis 14. 8.	18.98	— 0.25	0.1	0.6	22.66	— 0.14	0.2	0.8	22.12	— 0.39	0.1	1.1
15. 8. bis 10. 9.	15.63	— 0.20	—	0.9	17.92	— 0.10	—	0.2	17.41	— 0.13	—	0.4
11. 9. „ 25. 9.	15.69	— 0.18	0.4	0.9	20.43	— 0.31	—	1.2	18.34	— 0.15	—	0.6
26. 9. „ 6. 10.	14.12	— 0.36	0.2	1.2	19.33	— 0.29	0.2	0.9	16.76	— 0.08	0.2	0.4
Mittel	16.12	— 0.25	0.4	1.2	20.08	— 0.21	0.2	1.2	18.66	— 0.19	0.2	1.1
b) Dunstspannung in Millimetern Quecksilbersäule.												
1917 1. bis 14. 8.	11.51	+ 0.52	2.5	0.1	10.48	+ 0.59	1.2	—	10.34	+ 0.10	0.7	1.8
15. 8. bis 10. 9.	10.55	+ 0.13	0.5	0.4	10.05	+ 0.22	0.6	0.1	9.99	+ 0.09	0.3	0.2
11. 9. „ 25. 9.	9.46	+ 0.24	0.7	—	9.12	+ 0.12	0.7	1.7	8.75	+ 0.01	0.4	1.5
26. 9. „ 6. 10.	7.76	+ 0.08	0.5	0.4	7.79	+ 0.03	0.7	1.6	7.68	+ 0.27	0.9	0.2
Mittel und Extreme	9.82	+ 0.24	2.5	0.4	9.36	+ 0.24	1.2	1.7	9.19	+ 0.12	0.9	1.8

Ist diese Differenz positiv, so wird das Aspirationspsychrometer höhere Werte der Temperatur und Dunstspannung geliefert haben als die Instrumente in der Hütte. Neben den Monatsmitteln stehen dann noch die größten positiven und größten negativen Einzelbeobachtungen. Es ist daraus zu ersehen, daß von Zeit zu Zeit recht bedeutende Verschiedenheiten auftreten, die nicht nur Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden dürfen. Auffallend ist, daß die größten Abweichungen, wenigstens bei den Temperaturen, positiv sind, also einem zu hohen Stand des Aspirationspsychrometers entsprechen. Im Jahresmittel verschwinden die Verschiedenheiten der Temperatur vollständig. Bei der Dunstspannung bleibt ein kleiner Unterschied bestehen, wonach das Aspirationspsychrometer etwa 0,1 mm zu hohe Werte der Feuchtigkeit ergibt. In den einzelnen Monaten können trotzdem die zeitweiligen großen Unterschiede größere Monatsmittel ergeben.

In Wahnsdorf habe ich nur an 40 Tagen während der Monate August bis Oktober 1917 Vergleichsbeobachtungen anstellen lassen. Hier würde die Hütte die Temperatur um rund 0,2° C zu hoch, die Dunstspannung aber um rund 0,2 mm zu klein ergeben. Die größten zeitweilig auftretenden Unterschiede sind bei der Temperatur negativ, bei der Dunstspannung aber wie auf dem Fichtelberg manchmal positiv, meist aber negativ.

Man kann wohl annehmen, daß längere Beobachtungen den Einfluß der zeitweiligen großen Unterschiede herabsetzen und daß also die Gesamtmittel kleiner ausfallen werden als die Mittel aus nur je 40 Beobachtungen. Eine Fortsetzung der Vergleichsbeobachtungen erachte ich für unnötig, sie nehmen viel Zeit in Anspruch, die besser angewendet werden kann.

Die Wassermessung im Brunnen und Speicher der Wasserleitung.

Als Instrument zur Wassermessung kommt hier hauptsächlich das im Bild 18 dargestellte in Frage, die weiteren Einrichtungen sollen im Anhang eingehender besprochen werden. Der wesentlichste Teil dieses Instrumentes sind die in Fig. 12 im Schnitt dargestellten Federdosen. Hergestellt werden

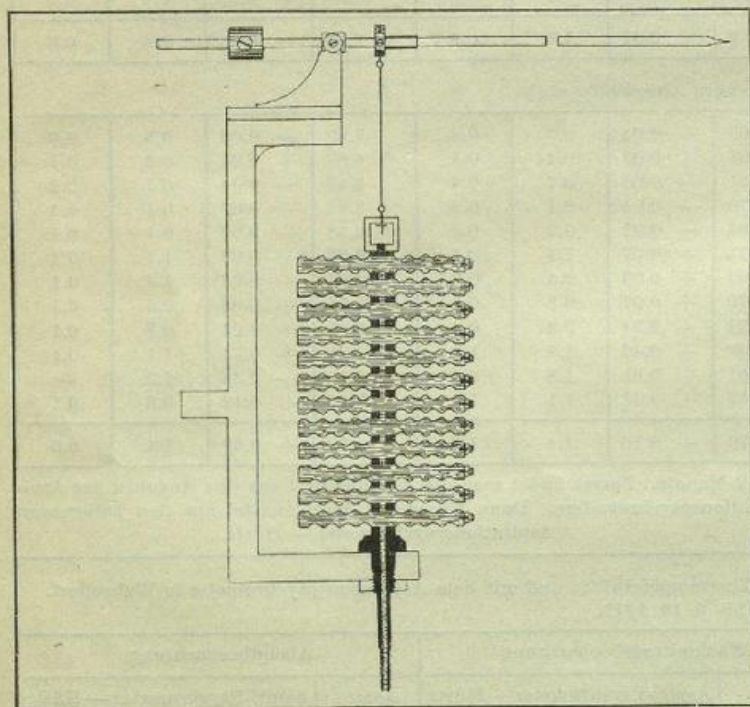


Fig. 12

diese Dosen aus gedrückten Schalen von Neusilberblech, dessen Stärke zwischen 1/4 und 2 mm je nach dem Zwecke des Instrumentes liegt. Diese Schalen werden paarweise durch Messingzwischenstücke vereinigt, dann zusammengeschoben und gut verlötet. An den Rändern der Dosen werden Schrauben eingesetzt, um das Füllen der Dosen mit irgend einer Flüssigkeit zu ermöglichen. Das Dosensystem wird dann in ein passendes Gestell eingesetzt und sein oberes Ende mit einem Hebel in Verbindung gebracht. Jede Änderung in der Länge des Systems kann so durch Zeiger ablesbar gemacht und durch Federn aufgeschrieben werden. Wie diese Längenänderungen entstehen können, zeigt die Fig. 13. Man denke sich zuerst einen hohen Wasserspeicher, dessen Wasserstand an irgend einer Stelle, z. B. dem Maschinenhaus jederzeit ersichtlich gemacht sein soll. Die mit Wasser gefüllten Dosen werden an das Abflußrohr angesetzt und stehen anfangs auf Null. Sowie aber durch die Maschine das Wasser im Rohr steigt und schließlich den Speicher füllt, dehnt der Druck die Federdosen aus und der Zeiger stellt sich auf einen Strich ein, der dann als Maß des Wasserstandes

im Speicher betrachtet werden darf. Alle Schwankungen des Wasserstandes im Speicher können an dem Zeiger oder den Aufzeichnungen der Registrierfeder erkannt werden. Die Aufgabe ist hier, bei einem Druck, der mehrere Zehner von Metern betragen kann, Schwankungen von nur wenigen Zentimetern deutlich und sicher erkennbar zu machen. Das erfordert besondere Vorsichtsmaßregeln. Schwieriger einzusuchen ist die Wirkungsweise, wenn der Wasserstand in einem Brunnen registriert werden soll. Die mit Wasser gefüllten Dosen werden auch hier an das Leitungsrohr angesetzt, wozu auch noch ein Quecksilbermanometer kommen kann. Man setzt dann am oberen durch einen Hahn verschließbaren Ende der Leitungsrohre eine Luftpumpe an und saugt das Wasser in die Höhe. Ob es allerdings bis zum Hahn steigen kann, hängt von dem Luftdruck und der Höhe des Hahnes über dem Wasserspiegel ab; man wird in den Niederungen ungefähr 8 m als die größte zulässige Höhendifferenz annehmen können. So-

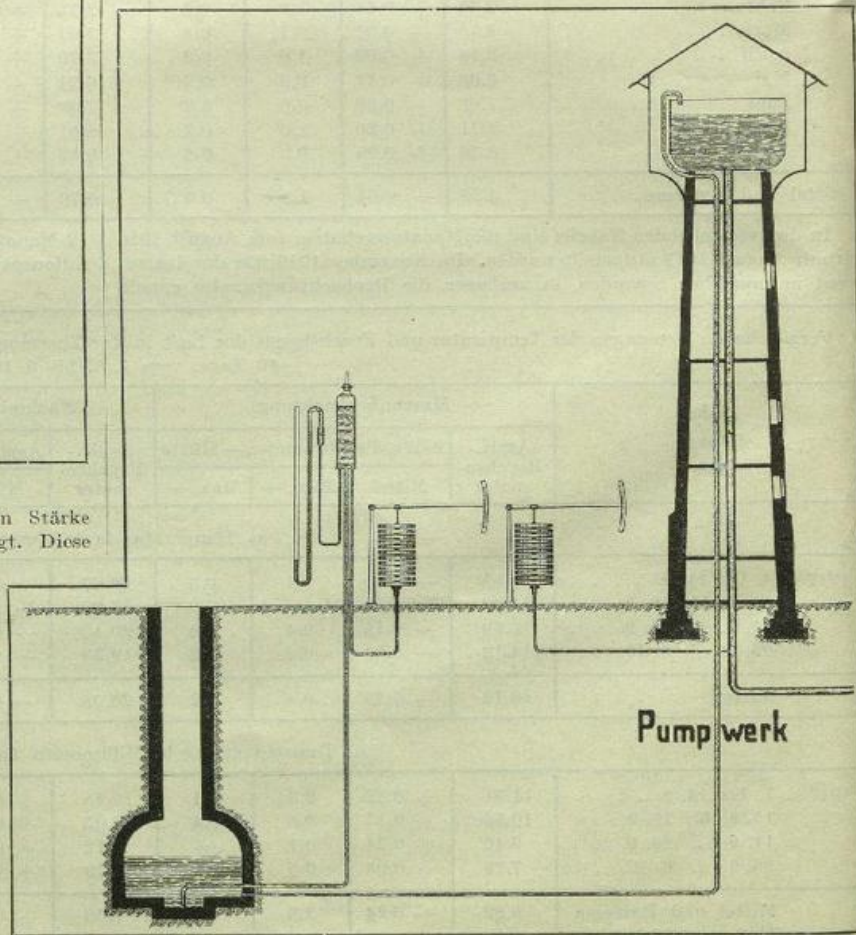


Fig. 13

wie die Luftpumpe zu wirken beginnt, wird das Quecksilber im Manometer nach der Röhre zu steigen und die Federdosen werden zusammengedrückt. Ist das Leitungsröhr bis zum Hahn mit Wasser gefüllt und sind alle Luftblasen aus demselben entfernt worden, so ergibt das Quecksilbermanometer die wahre Höhe der Wassersäule. Das gestattet, das Federdosenmanometer so zu eichen, daß man aus der Zeigerstellung den Wasserstand im Brunnen erkennen kann. Die Federkraft in den Dosendeckeln bewirkt, daß jedem Wasserstand eine bestimmte Länge des Dosesystems entspricht.

Das im Bild 18 dargestellte Instrument hat zwei Dosesysteme, welche auf einem Zylinder ihre Angaben aufschreiben. Sonach wird man auf dem Papierstreifen alle Schwankungen im Wasserspeicher und dem Brunnen überblicken können. Der Registrierzylinder wird hier in einer oder einer halben Woche durch ein Regulatorwerk einmal herumgedreht. Eine Kontaktvorrichtung im Uhrwerk macht mit Hilfe eines Trockenelements Stundenmarken. Das Instrument liefert nach meinen Angaben die Firma G. Lorenz in Chemnitz seit mehr als 20 Jahren. Es hat die verschiedenste Verwendung gefunden zur Bestimmung der Wasserstände in Speichern, Flüssen und Brunnen, aber auch als Regenmesser. Die Registrierung der Wasserstände in den Wasserspeichern durch dieses Instrument findet in mehreren von der Baudirektion im Ministerium des Innern errichteten Landesanstalten statt. Hier sind besondere Bleihrohrleitungen von den Speichern nach den Maschinenhäusern gelegt worden, welche ganz beträchtliche Längen besitzen, wie dies aus der nachstehenden Zusammenstellung hervorgeht.

Ort	Größe Höhe des Wasserspiegels über den Federdosen	Länge der Rohrleitung
Arnsdorf	35,4 m	1750 m
Großschweidnitz	46,0 „	1354 „
Chemnitz-Altendorf	18,0 „	289 „
Zschadraß	32,0 „	155 „

In Großschweidnitz stehen die Dosen also unter einem Druck von 4,6 Atmosphären und 1354 m horizontal entfernt und sollen trotzdem jeden Zentimeter Wasserstandsänderung rasch und genau angeben. Durch besondere Versuche wurde festgestellt, daß sich jede Druckänderung fast sofort im Registrierapparat bemerklich macht. In Arnsdorf ist die horizontale Entfernung sogar fast 2 km. Hier war es sehr schwer, die Luft aus der Leitungsröhre zu entfernen.

In Wahnsdorf stehen zwei solcher Instrumente, das eine registriert die Wasserstände in der Hauswasserleitung und dem Brunnen, das andere die Regenmengen.

Aus Fig. 14 ist ersichtlich, daß von dem Wasserspeicher im Turm eine Rohrleitung nach einem Federdosen-system im Keller geht. Der Speicher ist nicht ganz 2 m hoch, liegt aber 25 m über dem Keller, es muß das Dosesystem also Wasserstände zwischen 23 und 25 m registrieren. Weiter ist aus der Figur zu ersehen, daß an dem Rohr vom Wasserspeicher ein mit Hähnen unten und oben verschließbarer Zylinder sitzt, von dem aus eine Rohrleitung nach einem zweiten Federdosen-system und nach einer Glocke

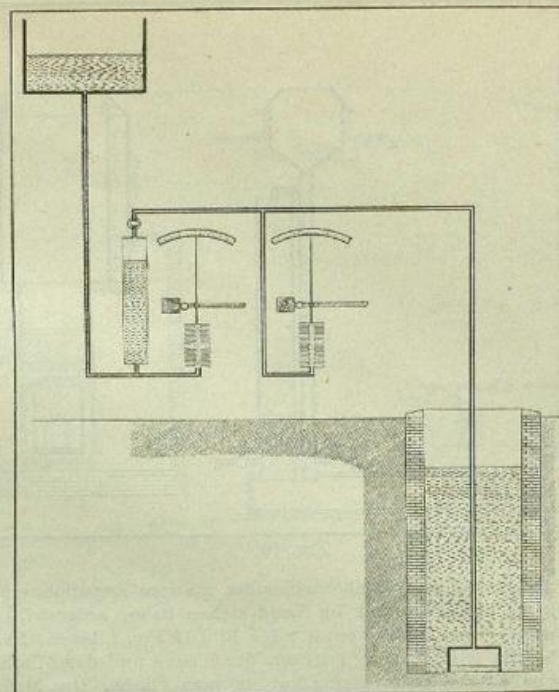


Fig. 14

am Boden des 15 m tiefen Brunnens geht. Anfangs ist in dem Zylinder (Windkessel) Luft, die Dosen enthalten auch Luft, die Glocke enthält aber Wasser, das in der Röhre so hoch wie außen im Brunnen steht. Wird aber Wasser in den Windkessel aus dem 25 m hohen Speicher gelassen, so drückt dieses die Luft zusammen und diese treibt alles Wasser aus der Glocke, welche höchstens 15 m tief im Wasser stehen kann, heraus, bis sie aus der Glocke unten entweicht. Mit dem Eintreten des Wassers in den Windkessel dehnt sich das Federdosen-system aus und zwar so lange, bis die Glocke vollständig mit Luft gefüllt ist. Dann bleiben der Schreibstift und der Zeiger an den Federdosen stehen und geben den Druck der Luft im ganzen System an, der gleich dem Druck der Wassersäule im Brunnen sein muß. Nun wird der obere Hahn am Windkessel geschlossen. Das Instrument zeichnet dann alle Schwankungen des Wasserstandes im Brunnen auf, wie im Anhang näher dargelegt werden wird. Es genügt ein Blick auf die beiden Zeiger, um sofort die Wasserstände im Speicher und im Brunnen zu erkennen.

Die Regenmesser.

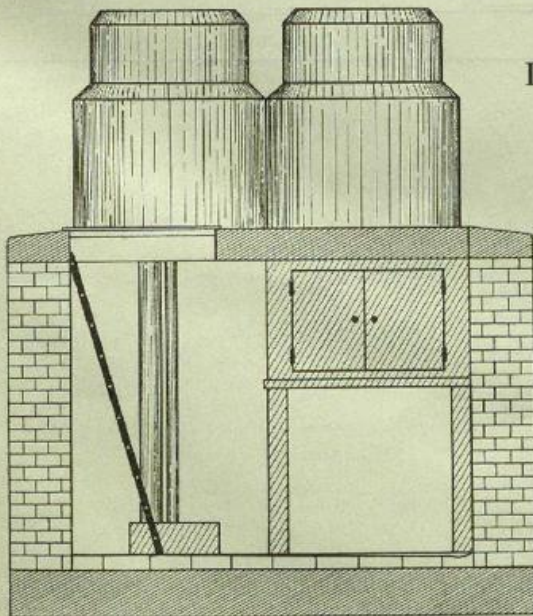


Fig. 15

Zum Auffangen von Schnee und Regen dient die in Fig. 15 im Schnitt dargestellte Grube. Die Auffangfläche eines jeden der beiden großen Regenmesser hat $\frac{1}{2}$ qm und ihre Höhe über dem Erdboden beträgt etwas über 1 m. Die weiteren Einzelheiten zeigt Fig. 16. Auf der linken Seite ist das Auffanggefäß ein Trichter, aus dem das Wasser in eine 2,5 m lange enge Röhre läuft und sich in dieser ansammelt. Von dieser Röhre ist eine Bleihrohrleitung nach den Federdosen im Keller geführt. Jede Zunahme der Wassersäule in dem Regenmesserrohr wird durch die Federdose angezeigt werden. Ist die enge Röhre des Regenmessers voll, so läuft das Wasser in die danebenstehende weitere Röhre. Dies wirkt auf die zweite Federdose im Registrierapparat. Die Feder der ersten Dose behält ihren höchsten Stand, die Feder der zweiten Dose beginnt den Aufstieg und schreibt die Regenmenge in kleinerem Maßstab auf. Werden die Röhren durch die daran befindlichen Hähne entleert, so gehen beide Federn auf die Nullstellung zurück.

Unter der Auffangfläche rechts fallen Regen oder Schnee in ein auf einer Wage stehendes Gefäß. Ein leichter Zylinder aus Drahtnetz verhindert, daß etwas davon verloren geht. Im Winter wird Chlorcalcium eingebracht, wodurch wenigstens das Zerfrieren des Gefäßes verhindert wird. Störend wirkt die Verdunstung, welche den Messungsvorgang etwas kompliziert macht, aber auch einen Anhalt über die Verdunstungsgröße ergibt.

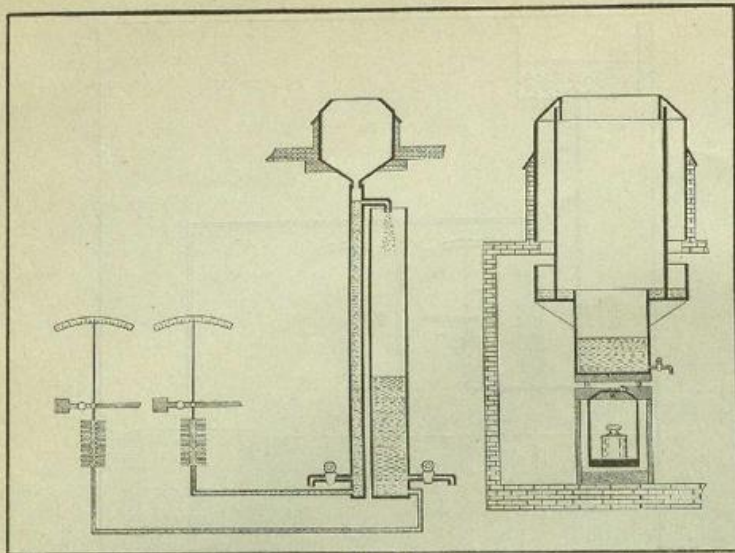


Fig. 16

Als drittes Instrument ist noch einer der Stations-Regenmesser, wie ich diese in einigen hundert Stück im Land stehen habe, aufgestellt worden. Die Einrichtung dieses Instrumentes zeigt Bild 19 Fig. 1 bis 6. Es besteht aus dem eisernen Gestell, dem Trichter, der Kanne und dem Umhüllungsgefäß. Der gußeiserne Auffangerring hat 500 qcm Fläche. Das Meßglas hat 500 ccm Volumen, wird also gerade 10 mm Regenwasser aufnehmen können.

Es ist so geteilt, daß man Zehntel-Millimeter Regenhöhe ablesen kann. Zur ungefähren Bestimmung des Niederschlags können Meßstäbchen aus Eichenholz verwendet werden. Diese müssen mit Hilfe des Meßglases, Laubsäge und Einbrennen mittels glühenden Drahtes mit einer Teilung versehen werden, wie dies die Figuren zeigen.

Die Fig. 17 zeigt die Lichtbilder der Registrierstreifen des Wasserstands- und des Regenmessers. Zu dem ersteren ist folgendes zu bemerken. Die gezackte Linie in rund $\frac{2}{3}$ der Streifenhöhe stellt den Wasserstand im Brunnen dar, welcher 9.80 bis 10.08 m betrug. Jede Zacke deutet auf Wasserentnahme durch das Pumpwerk hin. Am unteren Rande des Streifens zieht sich die Nulllinie mit den Stundenmarken hin. Die übrigen Linien werden durch die Wasserstandsänderungen im Speicher bedingt. In der Nacht wird dieser abgesperrt, es bleibt deshalb die Schreibfeder in Ruhe. Wenn diese ungefähr in der Mitte steht, ist der Speicher voll, das Pumpwerk arbeitet aber weiter und gibt fast 1 Atmosphäre Überdruck. Deshalb steigt die Schreibfeder an, bis das Pumpwerk stillsteht. Der Überdruck verschwindet sehr rasch, die Schreibfeder geht also rasch bis zur Mitte zurück und sinkt dann erst, wenn das Wasser im Speicher zurückgeht. Das aus der Brunnenwasser-

standskurve ersichtliche Einschalten der Pumpe in der Nacht war durch Undichtheiten der Kolbenpackung der Pumpe bedingt, es lief durch diese das Wasser einfach wieder in den Brunnen zurück, die Pumpe stand aber 5 m tief unter Wasserspiegel.

Die Registrierung der Regenmengen am 1. bis 3. Januar 1917 wurde von dem Manometer an der engen Röhre ausgeführt. Am 3. Januar 5 h war diese Röhre aber voll, das Wasser lief in die weite Röhre über und es setzte sich das Manometer an dieser in Bewegung. Um 7 Uhr wurde dann die enge Röhre entleert. Zur Füllung derselben sind fast genau 10 mm Regenhöhe, also 5 l Wasser nötig, da die Auffangfläche $\frac{1}{2}$ qm groß ist.

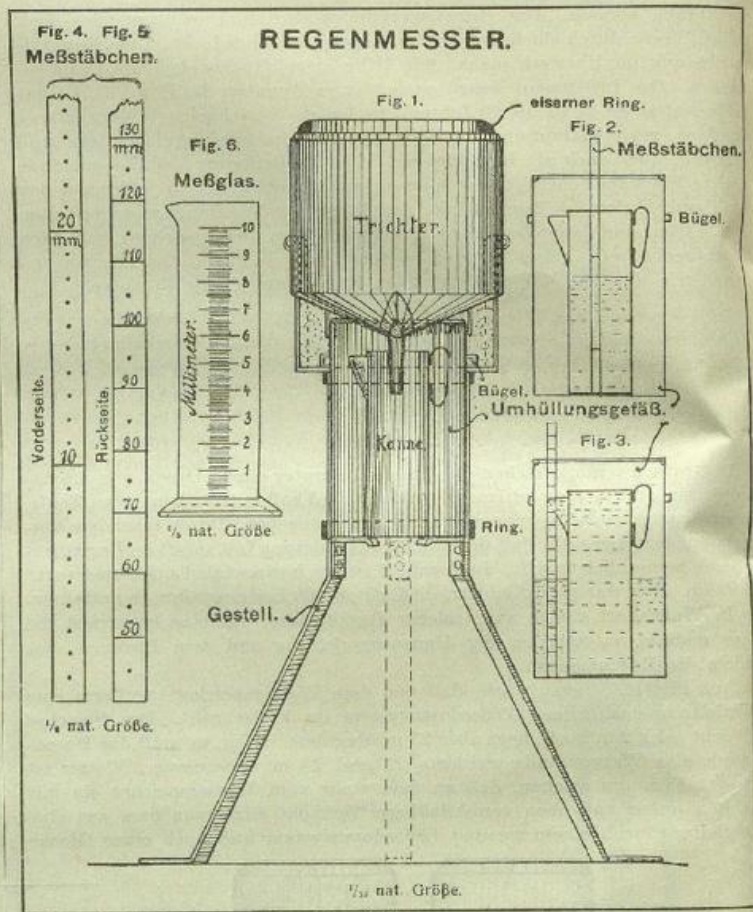
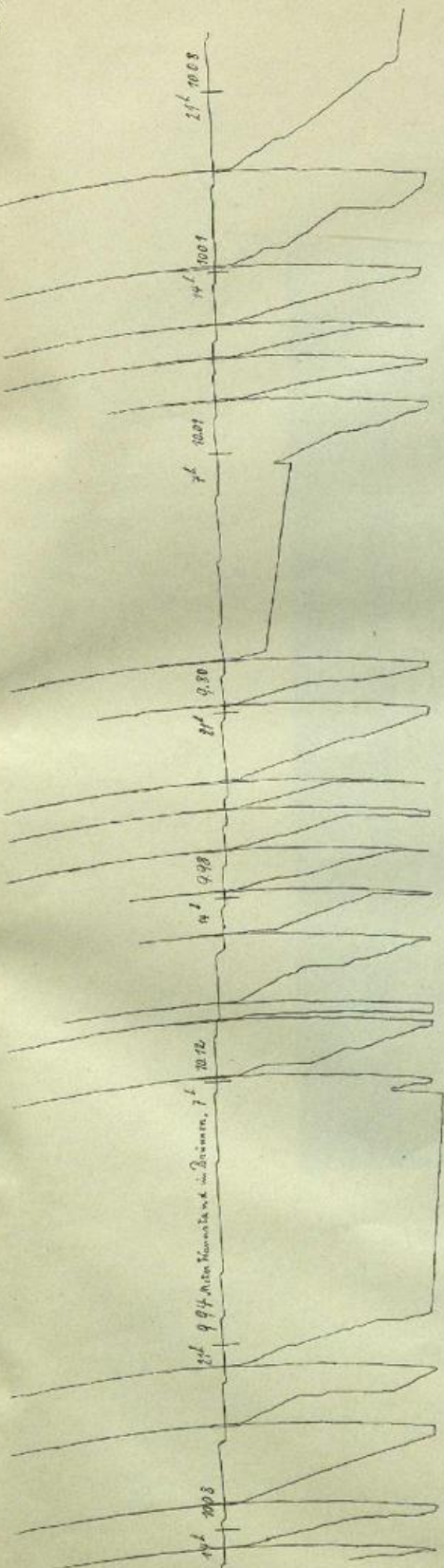


Bild 19

21.1.1917
22.1.1917

19.1.1917
20.1.1917



10.1

10.3

10.6

10.7

10.8

10.9

11.0

11.1

11.2

11.3

11.4

11.5

11.6

11.7

11.8

11.9

12.0

12.1

12.2

12.3

12.4

12.5

12.6

12.7

12.8

12.9

12.0

12.1

12.2

12.3

12.4

12.5

12.6

12.7

12.8

12.9

13.0

13.1

13.2

13.3

13.4

13.5

13.6

13.7

13.8

13.9

14.0

14.1

14.2

14.3

14.4

14.5

14.6

14.7

14.8

14.9

15.0

15.1

15.2

15.3

15.4

15.5

15.6

15.7

15.8

15.9

16.0

16.1

16.2

16.3

16.4

16.5

16.6

16.7

16.8

16.9

17.0

17.1

17.2

17.3

17.4

17.5

17.6

17.7

17.8

17.9

18.0

18.1

18.2

18.3

18.4

18.5

18.6

18.7

18.8

18.9

19.0

19.1

19.2

19.3

19.4

19.5

19.6

19.7

19.8

19.9

20.0

20.1

20.2

20.3

20.4

20.5

20.6

20.7

20.8

20.9

21.0

21.1

21.2

21.3

21.4

21.5

21.6

21.7

21.8

21.9

22.0

22.1

22.2

22.3

22.4

22.5

22.6

22.7

22.8

22.9

23.0

23.1

23.2

23.3

23.4

23.5

23.6

23.7

23.8

23.9

24.0

24.1

24.2

24.3

24.4

24.5

24.6

24.7

24.8

24.9

25.0

25.1

25.2

25.3

25.4

25.5

25.6

25.7

25.8

25.9

26.0

26.1

26.2

26.3

26.4

26.5

26.6

26.7

26.8

26.9

27.0

27.1

27.2

27.3

27.4

27.5

27.6

27.7

27.8

27.9

28.0

28.1

28.2

28.3

28.4

28.5

28.6

28.7

28.8

28.9

29.0

29.1

29.2

29.3

29.4

29.5

29.6

29.7

29.8

29.9

30.0

30.1

30.2

30.3

30.4

30.5

30.6

30.7

30.8

30.9

31.0

31.1

31.2

31.3

31.4

31.5

31.6

31.7

31.8

31.9

32.0

32.1

32.2

32.3

32.4

32.5

32.6

32.7

32.8

32.9

33.0

33.1

33.2

33.3

33.4

33.5

33.6

33.7

33.8

33.9

34.0

34.1

34.2

34.3

34.4

34.5

34.6

34.7

34.8

34.9

35.0

35.1

35.2

35.3

35.4

35.5

35.6

35.7

35.8

35.9

36.0

36.1

36.2

36.3

36.4

36.5

36.6

36.7

36.8

36.9

37.0

37.1

37.2

37.3

37.4

37.5

37.6

37.7

37.8

37.9

38.0

38.1

38.2

38.3

38.4

38.5

38.6

38.7

38.8

38.9

39.0

39.1

39.2

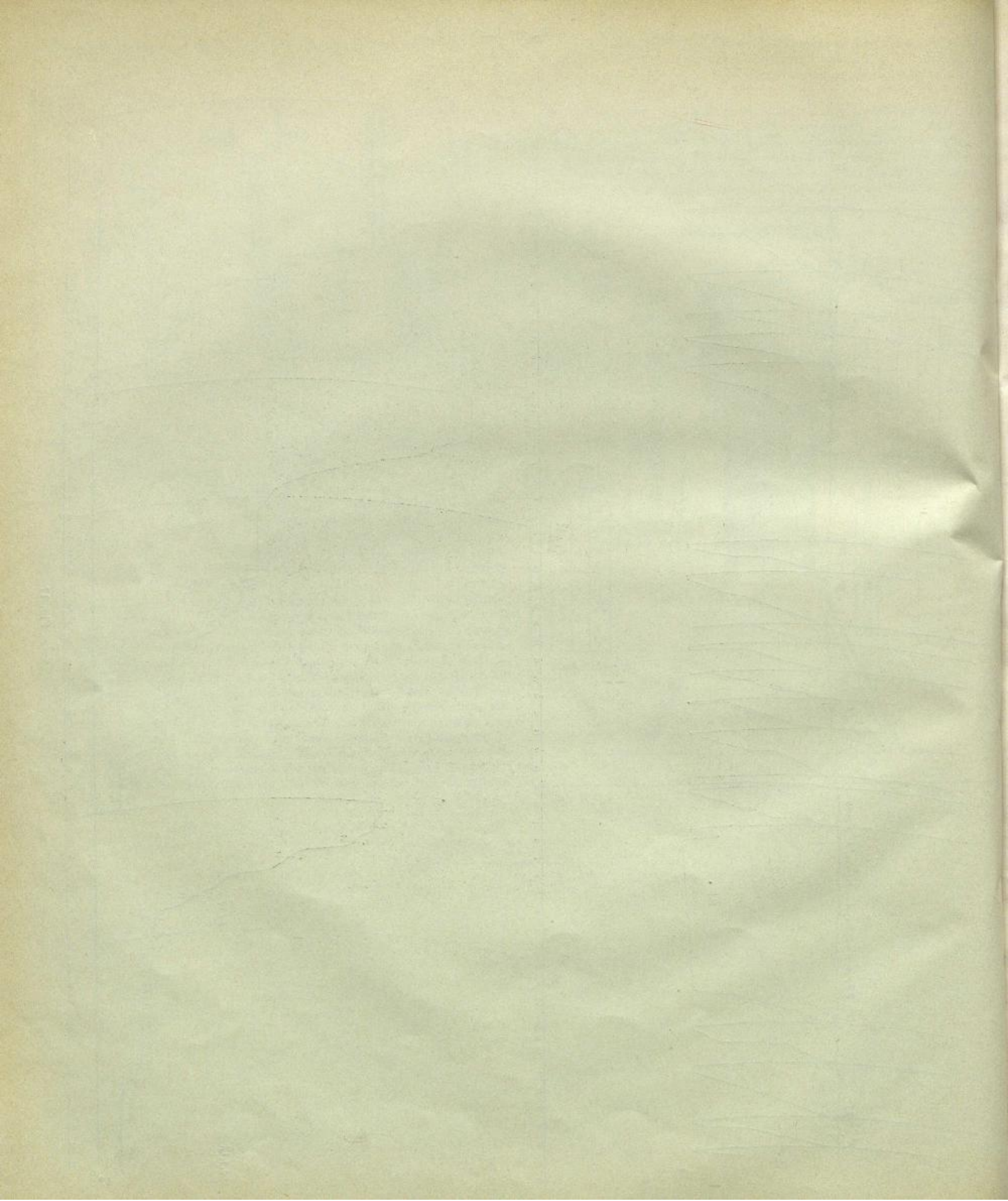
39.3

39.4

39.5

39.6

39.7



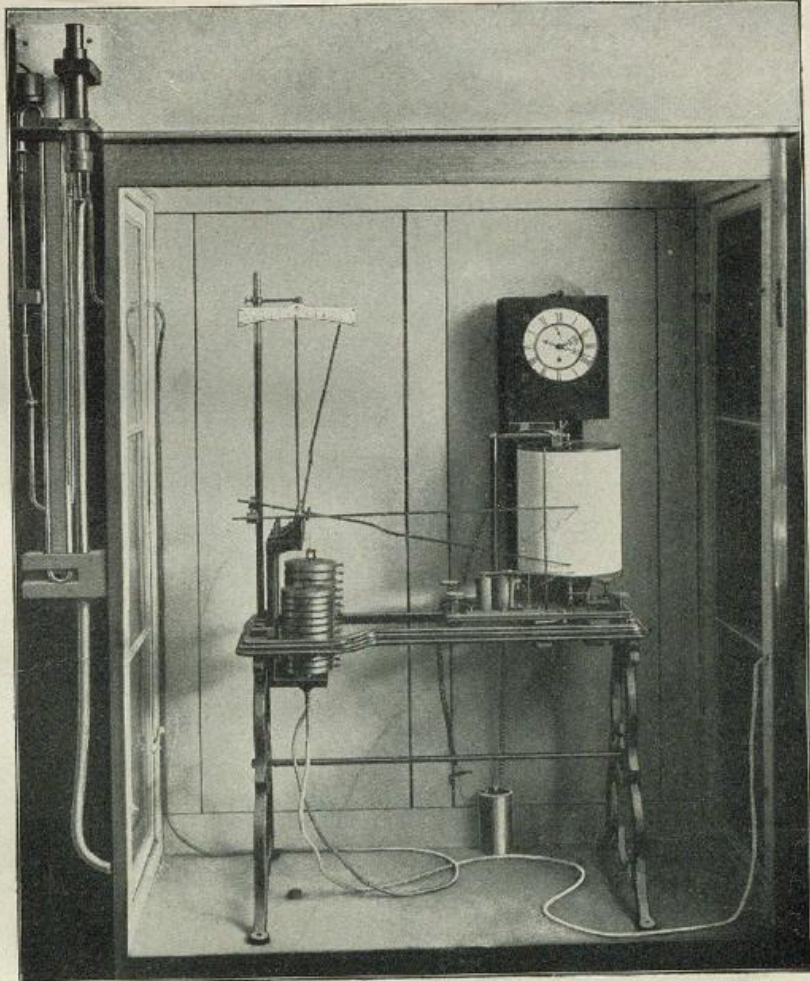
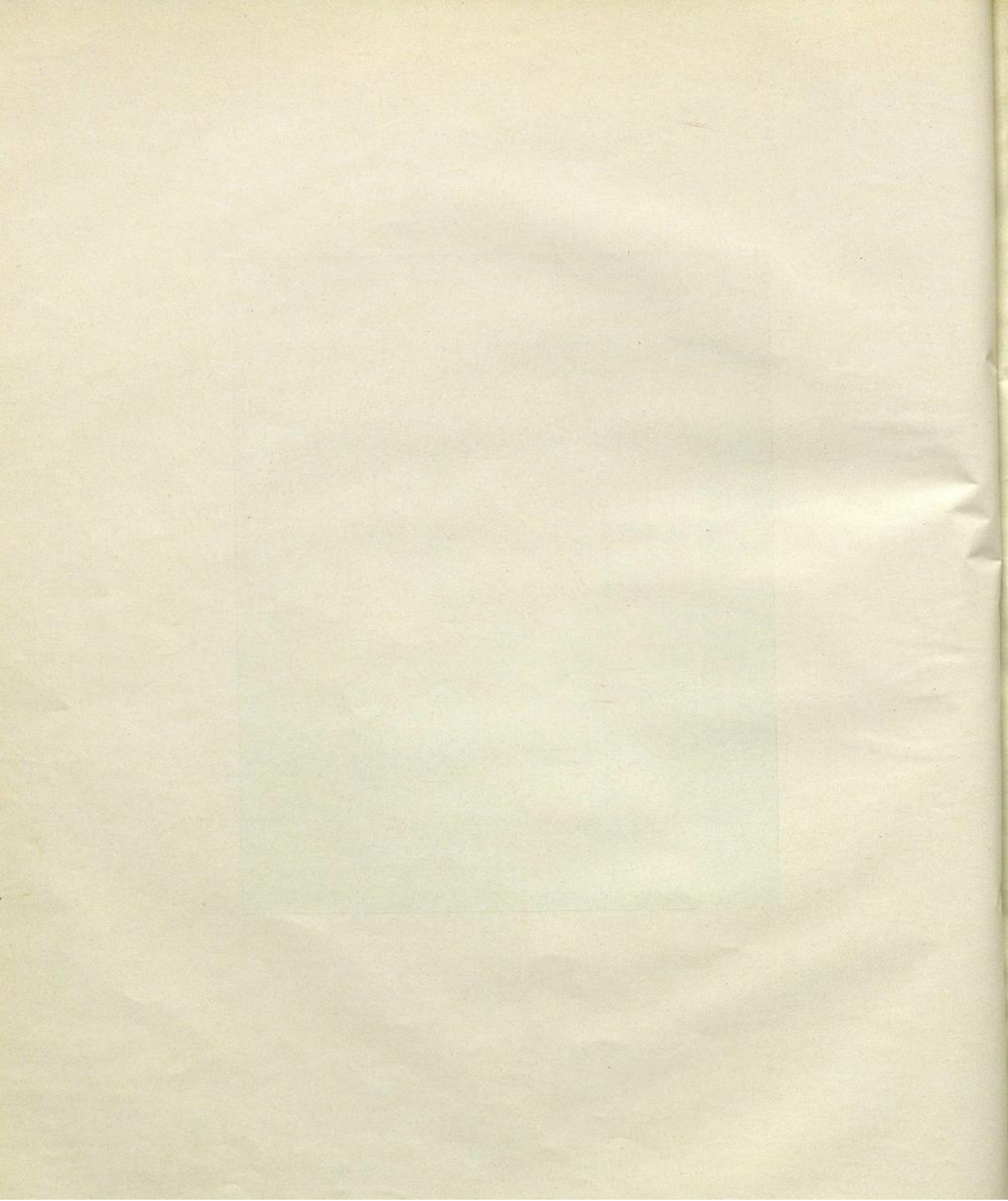


Bild 18

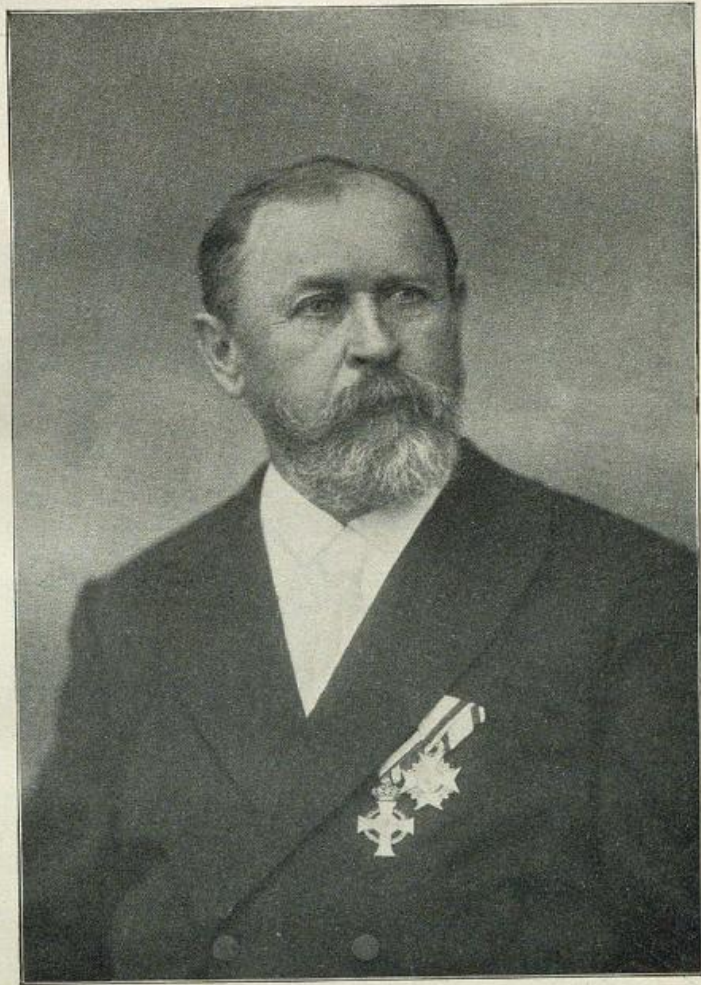


ANHANG

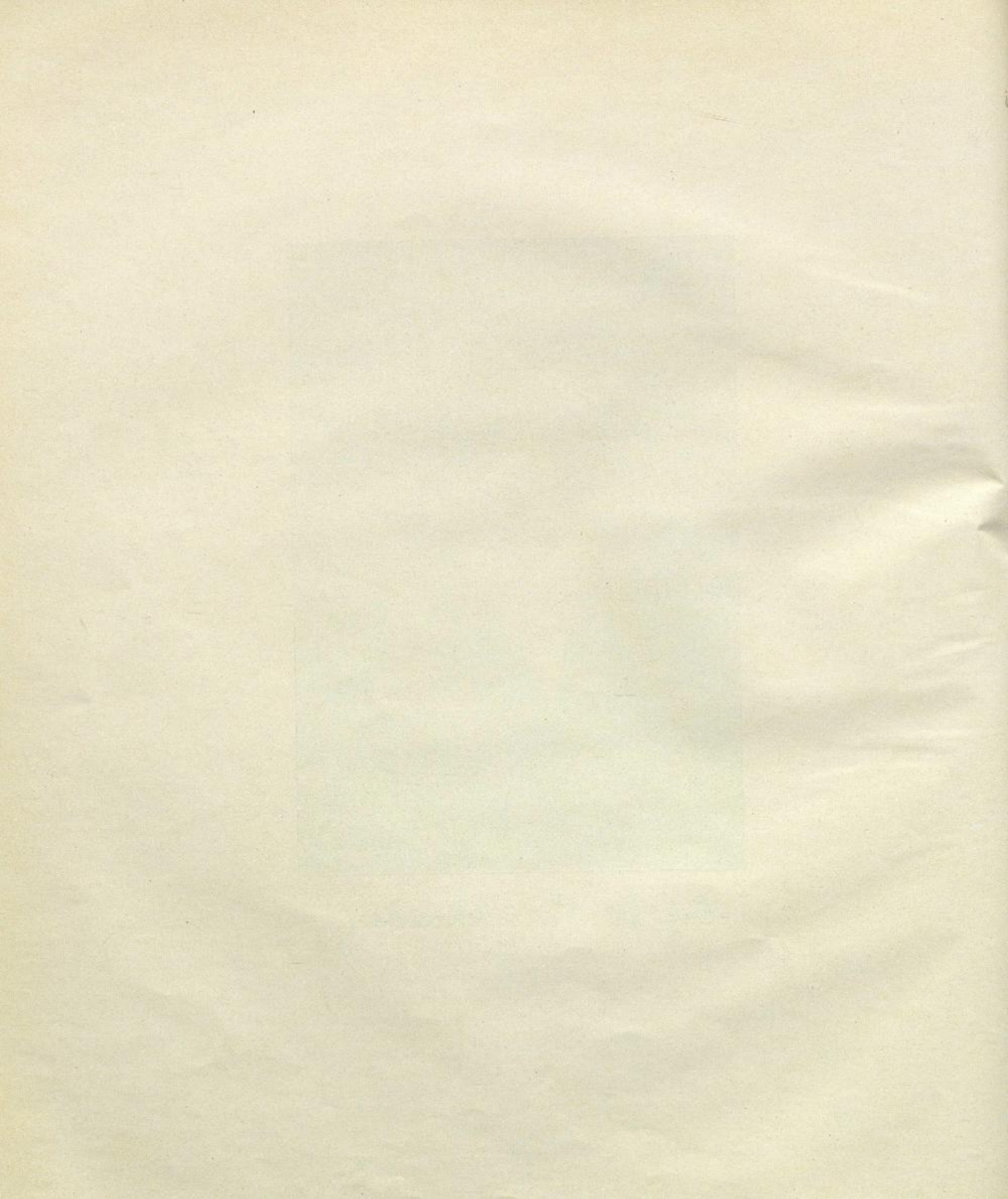


ANNALS





Prof. Dr. Paul Schreiber.



Einleitung. Wagemanometer und Wagebarometer.

Wenn ich, den Einflüsterungen der Eitelkeit nachgebend, dem Anhang an die Beschreibung der beiden Wetterwarten mein Bild vorstelle, so hoffe ich Verzeihung zu finden. Es ist wohl das erste Mal in meinem Leben, daß ich meine Person in den Vordergrund stelle, leider wurde mir diese zwar nicht schöne aber recht nützliche Gabe nicht beschert, es wäre dies vielleicht für mich und die von mir vertretene Sache besser gewesen.

Mit dem Wagebarometer begann mein wissenschaftliches Leben und ich will hoffen, daß mir Gott noch einige Jahre zu recht eingehender Arbeit mit Wagebarometern und Wagemanometern schenkt, also gehört meine Person voll und ganz zu denselben.

Das Bild wurde um Weihnachten 1913 von Klinkhard & Eysen in Dresden aufgenommen, abgedruckt wurde es in dem Jahre, in dem es mir vergönnt war, das siebenzigste Lebensjahr zu vollenden. In diesem Jahre konnte ich auch mein fünfzigjähriges Schriftstellerjubiläum feiern.¹⁾

Die Theorie der Wagebarometer und Wagemanometer habe ich für den Anhang vorbehalten, da sie die einfachen Beschreibungen zerrissen haben würde und doch einige mathematische Kenntnisse erfordert, außerdem aber nicht nach jedermanns Geschmack sein dürfte. Dasselbe gilt auch für die Vorrichtungen zu der Messung der Wolkenbewegung und der Sonnenstrahlung. Die Darlegungen über den letzten Gegenstand dürfen nicht falsch verstanden werden. Sie können und sollen nicht eine vollständige Theorie geben. Mir kam es nur darauf an, zu zeigen, welche Zwecke wir bei diesen Messungen für das praktische Leben und die praktische Meteorologie verfolgen. Unter der letzteren verstehe ich die Meteorologie, die mit Kilogrammen, Kubikmetern, wirklichen Millimetern und Metern und reellen Temperaturen arbeitet.

Unter einem Wagemanometer verstehe ich eine Einrichtung, durch welche die Spannung eines Gases in irgend einem Gefäß, oder der Druck einer Flüssigkeit an irgend einer Stelle durch Wägung statt durch Messung der Höhe einer Flüssigkeitssäule bestimmt wird. Die einfachste Form eines Wagemanometers ist die Gasometerglocke, welche aber erst in der neueren Zeit und — soweit es mir bekannt ist — nur zur Messung des Winddruckes verwendet wird. Sehr alt ist dagegen das Wagebarometer in seinen verschiedenen Formen. Soweit es mir dann noch bekannt geworden ist, haben sich außer mir mit der Theorie dieser Instrumente nur Wild und Sprung beschäftigt, sie sind unbegreiflicherweise ein Stiefkind der Instrumentenkunde geblieben. Ich wurde zu der Beschäftigung mit dieser Angelegenheit durch das Wagebarometer auf der Sternwarte zu Leipzig, welches wohl nach Wilds Angaben von dem Mechaniker Schadowell in Dresden gebaut worden war, veranlaßt und hatte sie zum Gegenstand meiner Doktordissertation:

„Untersuchungen über die Theorie und Praxis des Wagebarometers“
(Carls Repertorium der Experimentalphysik Band VIII S. 245 ff.)

gewählt. In dem Repertorium für Experimentalphysik folgten dieser Arbeit dann noch die weiteren Abhandlungen:

Band IX S. 129: Über ein zweckmäßiges Verfahren zur Reduktion der Wagebarometer-Registrierungen.

Band XI S. 1: Theorie eines neuen Thermometers, welches aus der Vereinigung des Luftthermometers mit dem Wagebarometer entsteht und sich zur automatischen Aufzeichnung der Temperaturen sehr leicht verwenden läßt. (Dezember 1874.)

Band XIV S. 471: Der Barothermograph, ein Registrierapparat für den Druck und die Temperatur der Atmosphäre.

Band XIV S. 649: Theorie eines neuen Wagebarometers mit Rolle und in Quecksilber schwimmendem Gegengewicht.

Band XV S. 209: Die Wagemanometer und deren Verwendbarkeit zur Konstruktion eines meteorologischen Universalregistrierapparates sowie eines autographierenden Pegels für Flüsse und das Meer mit stetigen Aufzeichnungen und eventuell selbsttätigem Integrier- und Aufziehwerk.

Darüber sind bereits mehr als 40 Jahre vergangen. Das Wesen meiner damaligen Ideen und Vorschläge ersieht man aus den Bildern 20 und 21, welche photographische Reproduktionen der Tafeln XII und XIII aus Band XV des Repertoriums für Experimentalphysik darstellen.

Auf Bild 20 ist Fig. 1 das Wagebarometer mit in Quecksilber schwimmendem Gegengewicht. Fig. 2 ist ein Wagebarometer für direkte Bestimmung des Luftdruckes durch Wägung. Fig. 3 stellt ein Wagemanometer vor. Dasselbe registriert die Spannung der Luft in dem Gefäß V_1 oder auch die Temperatur der Luft in demselben, da die Spannung von dieser abhängt. Fig. 4 zeigt, wie das Wagemanometer zur Messung der Höhe des Wasserstandes in einem Wasserspeicher verwendet werden und Fig. 8, wie man mittels des Instrumentes Fig. 3 den Wasserstand im Meer oder Flüssen registrieren kann.

Auf dem Bild 21 stellen Fig. 5 die Vorrichtung zur Registrierung des Niederschlages, Fig. 6 und 7 die zur Bestimmung von Richtung und Stärke des Windes mit Hilfe der Manometer Fig. 3 und Fig. 4 (Bild 20) vor. In Fig. 9 wird gelehrt, wie die Registrierungen selbsttätig zur Mittelbildung integriert werden können. In Fig. 10 und 11 wird vorgeschlagen, die Änderungen des Luftdruckes, die Ebbe und Flut des Meeres und den Wind zum Aufziehen der Uhr zu verwenden.

Mein unvergeßlicher väterlicher Freund G. Neumayer, der erste Direktor der Deutschen Seewarte in Hamburg, wagte es, mir, dem damals achtundzwanzigjährigen jungen Mann, den Auftrag zur Lieferung des in der vierten der genannten Abhandlungen eingehend beschriebenen Barothermographen zu erteilen. Es war dies am 3. November 1876. Es begann nun eine aufregende Zeit. Der Mechaniker G. Lorenz in Chemnitz stellte mir seine Werkstatt und fachkundigste Hilfe zur Verfügung. Ich lieferte die Zeichnungen zuerst zu den einzelnen Teilen, ohne auch nur eine Idee zu haben, wie das Ganze schließlich aussehen würde. Sowie eine Zeichnung fertig war, begann die Herstellung, und es ist mir noch heute unbegreiflich, wie aus der ganzen Sache etwas werden konnte. Im Juli oder August 1877 konnte der Apparat in Chemnitz zusammengestellt werden, aber zu einer wirklichen

Der complete meteorologische Registrir- und Integrirapparat von Dr. Paul Schreiber.
in Chemnitz (Sachsen.)

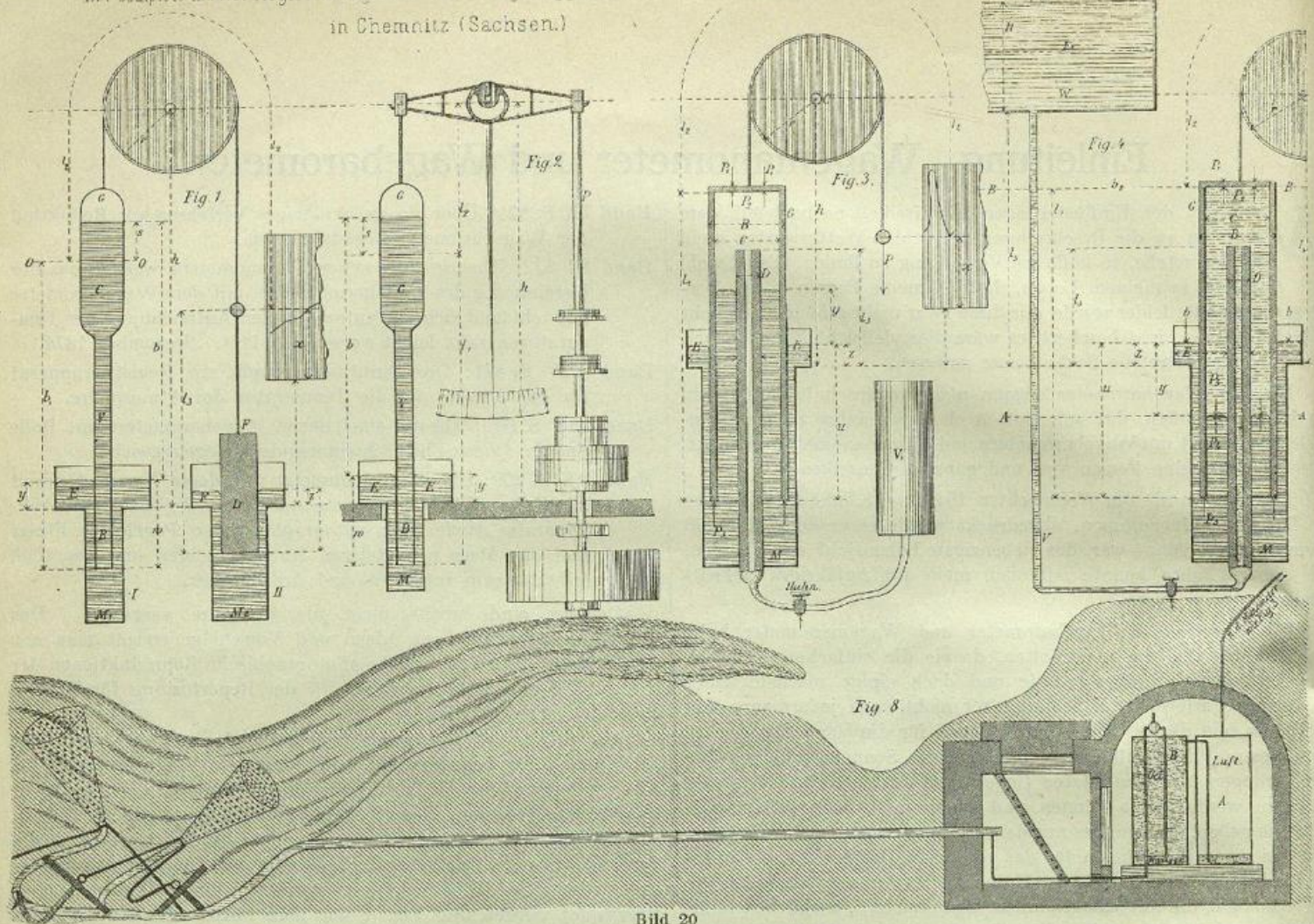


Bild 20

Ingangsetzung und Prüfung gab es keine Zeit, es konnte vor dem Feinmachen aller Teile nur erprobt werden, ob der ganze Mechanismus wirklich funktioniere. Im September 1877 stellte ich das Instrument in Hamburg auf und es ist dort mehrere Jahre in Verwendung gewesen. Da aber die Verarbeitung der Registrierungen viel Zeit erforderte und die Neuzeit bequemere Apparate lieferte, wurde es außer Dienst gestellt. Der Hauptnachteil des Apparates, welcher zur Pensionierung führen mußte, ist, daß die Registrierung nur nach je 20 Minuten erfolgt.

Gegen 1910 nahm ich das Instrument nach Dresden und wollte es dort in Betrieb setzen. Da kam aber die Hygieneausstellung und mit dieser so viel Arbeit, daß ich die Sache nicht weiter verfolgen konnte. Bei den ungünstigen Verhältnissen unserer Diensträume in Dresden wäre aus ihr nicht viel Gutes geworden. Dann kam mein Zusammenbruch, der erste nach 40 langen Dienstjahren, und während der schweren Depression meines Denkens und Könnens das Angebot des Deutschen Museums von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik in München, den Apparat der Seewarte abzukaufen. Darüber konnte ich mich nur herzlich freuen. Ohne mein Beisein wurde der Apparat auseinandergenommen und eingepackt, aus dem Haus gefahren, ich habe nichts davon gesehen und es ist die Frage, ob ich das Instrument in meinem Leben noch einmal werde sehen können.

Fig. 18 gibt eine Ansicht des ganzen Instrumentes, das Bild wurde in der Leipziger Illustrierten Zeitung im Jahre 1878 veröffentlicht. Es machen drei Instrumente nach je 20 Minuten Marken auf demselben Zylinder. Die erste derselben gibt den Barometerstand, die zweite die Temperatur des Instrumentes und die dritte die Temperatur der Luft. Das Wesen der Instrumente erhellt aus den Figuren 1 und 3 des Bildes 20.

Um meine Studien in dieser Richtung fortsetzen zu können, gewährte mir die Preußische Akademie der Wissenschaften eine Unterstützung von 3000 Mark. Da kam das Jahr 1882 heran, in dem ich die Leitung des Sächsischen Meteorologischen Institutes im Nebenamt übernahm. Im Hauptamt war ich Lehrer für Physik an den Technischen Staatslehranstalten in Chemnitz, wohin also der Sitz der Direktion des Meteorologischen Institutes verlegt wurde. Was ich übernahm, war sehr wenig, mir wurde zuerst eine unheizbare Stube im Laboratoriumsgebäude eingeräumt. In diesem Raume mußten wir — ich, mein Schwiegervater als erster Expedient und ein Hilfsknahe — den ersten Winter zubringen.

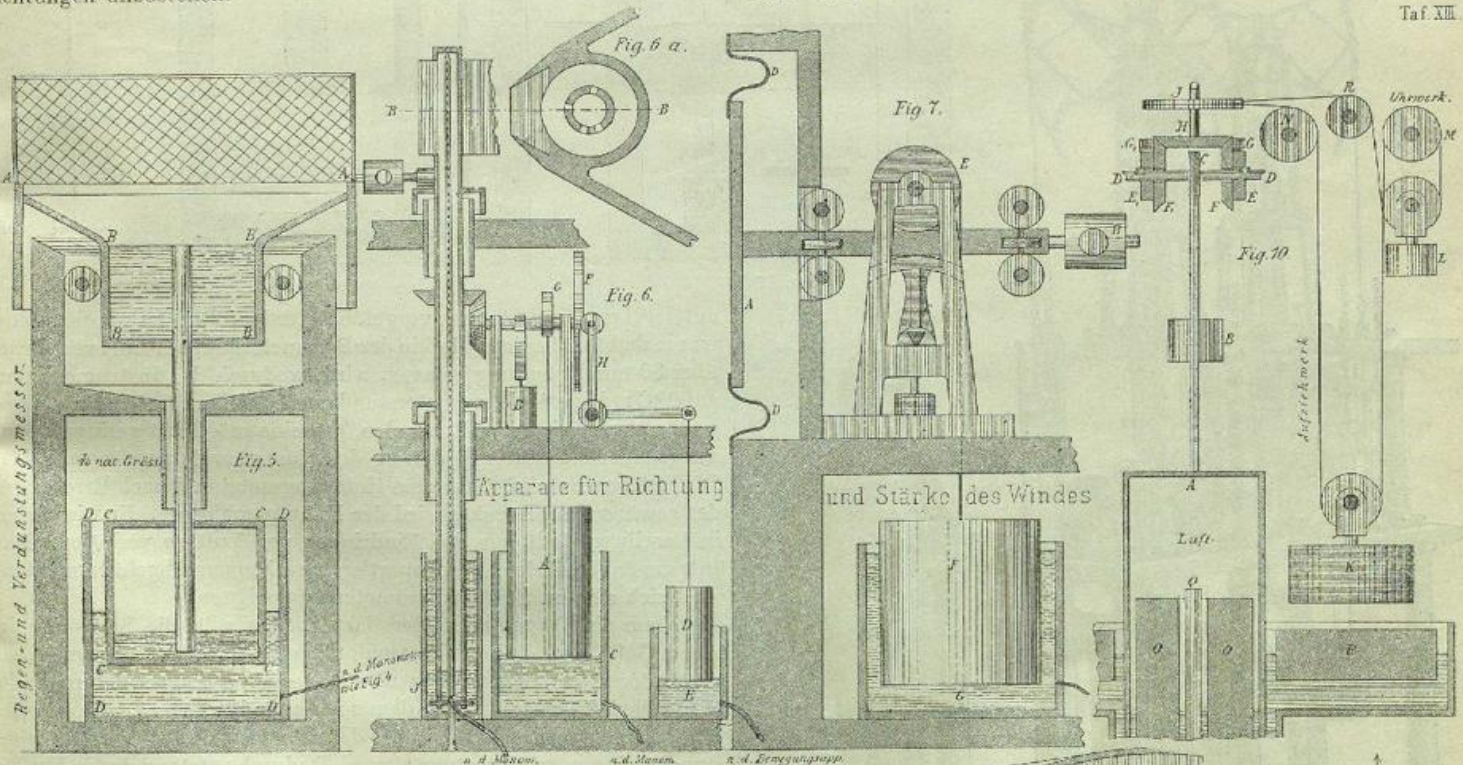
Dann wurde eine Vierzimmerwohnung Ecke der Königstraße und Zimmerstraße mit sehr kaltem Fußboden gemietet und in deren Küche die Steindruckerei mit einer alten Steindruckpresse eingerichtet. Der erste Drucker war der Mechaniker Paul Kühne.

Die Unterstützung der Berliner Akademie verwendete ich zur Einrichtung einer Werkstatt mit Laboratorium im Hause meines Schwiegervaters, Neue Dresdner Straße 6, wo auch meine Wohnung war, und im Garten dieses Grundstückes fanden die Temperaturmessungen statt. Herr Kühne wurde nun Mechaniker, und als Stein-drucker trat der noch jetzt im Dienste stehende Herr Max Hertel ein. An der Königstraße wurden dann noch weitere Zimmer hinzugemietet. Da verkaufte der Staat das Schloß zu Chemnitz an die Stadt, die Oberförsterwohnung in dem oberen Teil über der Schloßgartenwirtschaft wurde frei, und 1887 konnten wir diese mietweise beziehen. 1884 war ich aus dem Lehramt entlassen worden, ich verlegte meine Wohnung in die Nähe des Schlosses nach der Promenadenstraße. In diesem Hause wurde eine Erdgeschoßwohnung noch zu den Schloßräumen für die Bibliothek hinzugemietet. Dann wurde es durch das Entgegenkommen des damaligen Oberbürgermeisters von Chemnitz, des jetzigen Herrn Kultusministers Exzellenz Dr. Beck, möglich, die oberen Stockwerke des früheren Gemeindeamtes Schloßchemnitz von der Stadt zu erhalten. Dorthin wurden meine Wohnung und die Bibliothek verlegt, und so war alles wenigstens einigermaßen beisammen. Der große Garten und die Aufstellung der Windapparate auf dem Dach der hohen Schloßschule gestatteten nunmehr, wenigstens einigermaßen vernünftige Beobachtungen anzustellen.

Im Jahre 1905 wurde das Meteorologische Institut nach Dresden verlegt und erhielt bald den Namen Landeswetterwarte. Die Beschaffenheit der Diensträume ist hier wesentlich ungünstiger für die Beobachtungen als in Chemnitz, aber die Post ist näher. 1914 gelang es endlich, für die Beobachtungen die Wetterwarten auf der Wahnsdorfer Kuppe und auf dem Fichtelberg zu erreichen. Ich habe also nur noch den einen Wunsch, ehe ich aus meinem Amt scheidet muß, für die Diensträume in Dresden Einrichtungen zu erhalten, die einer wissenschaftlichen Anstalt würdig sind. Das gilt namentlich für die wertvolle Bibliothek und das Archiv.

Aus diesen Darstellungen dürfte zur Genüge hervorgehen, daß mir wenig Zeit zu wissenschaftlichen Arbeiten übriggeblieben ist, ich war und bin noch meist der Verwaltungsbeamte. Aber die Werkstatt erwies sich als sehr nützlich, eigentlich bauen wie alles selbst. Wir richteten die alten Barometer so vor, daß sie jetzt noch voll brauchbar sind und sich gut halten. Es wurden Thermometergestelle gebaut, Prüfungseinrichtungen für die Thermometer hergestellt. Die Windfahnen und Schalenkreuze bauen wir uns selbst. Nach und nach konnte auch das erste Exemplar des Registrierapparates für Richtung und Stärke des Windes fertiggestellt werden. Dabei wurde ich von meinen Mechanikern kräftig unterstützt. Als Herr Kühne sich in Chemnitz selbständig gemacht hatte, trat an seine Stelle der erste Gehilfe bei G. Lorenz, Herr Paul Treuth, und diesem

Taf. XIII.



Der complete meteorologische Registrir- u. Integrirapparat v. D^r Paul Schreiber in Chemnitz (Sachsen)

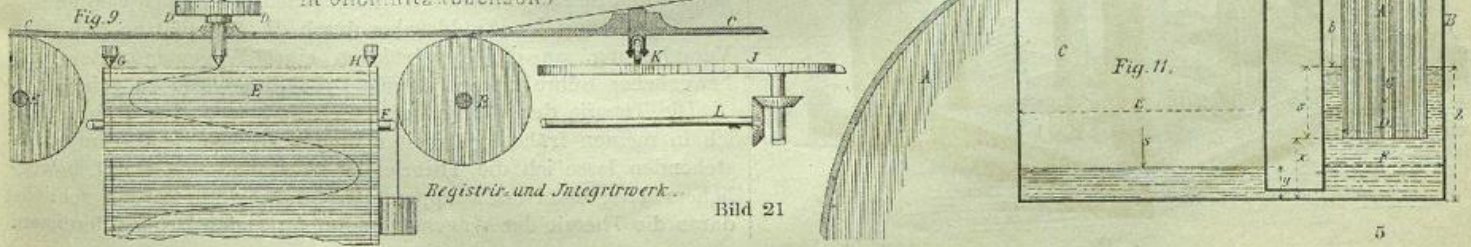


Bild 21

folgte nach Übergang Treuths zum Landeseich-
amt der Gehilfe bei G. Heyde, Herr Paul Windel.

In den letzten Jahren wurde der Bau von Wa-
gemanometern in Angriff genommen, ich hatte
aber in vielen Fragen andere Ansicht als früher
bekommen. Aus den Bildern 20 und 21 und
Fig. 18 ersieht man, daß bei den verschiedenen
Wagemanometern die Röhren beweglich sind.
Ich hatte das Bestreben, diese Bewegung mög-
lichst groß zu machen. Das gab aber den Instru-
menten gar zu ungeheuerliche Dimensionen. So-
nach versuchte ich, die Röhren festzumachen, da-
für aber dem Trog kleine Bewegungen zu geben.
Das erste dieser Instrumente war ein Manometer
zur Prüfung von Aneroidbarometern. Als dieses
sich bewährt hatte, wurde ein Barograph in An-
griff genommen. Zuerst wurde das in Fig. 19 dar-
gestellte Instrument bloß zur Ablesung des Baro-
meterstandes an einer Skala
hergestellt und konnte

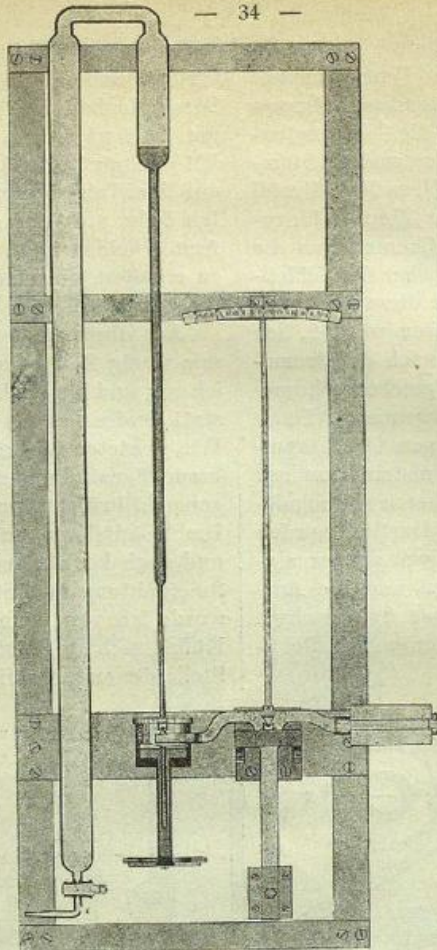


Fig. 19

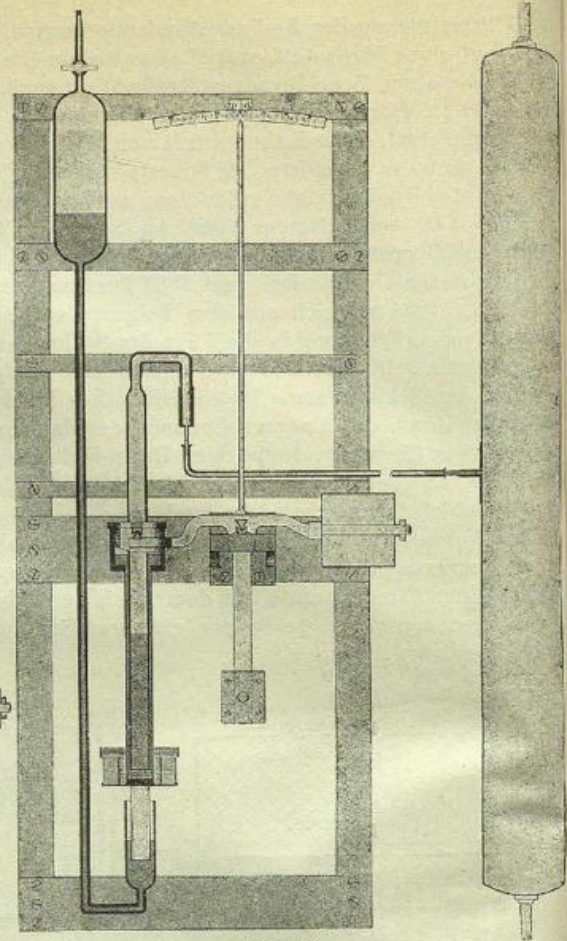


Fig. 20

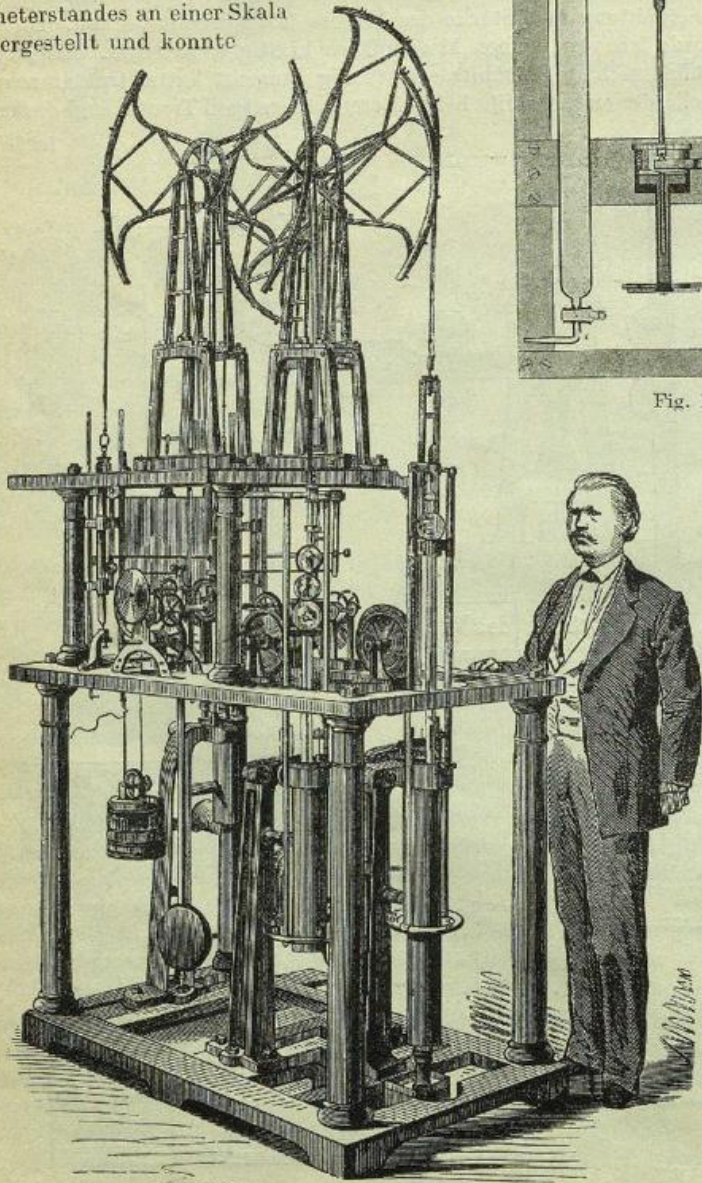


Fig. 18

auf der Hygieneausstellung vorgeführt werden. Die Gestalt der Röhre
wurde dadurch bedingt, daß in der Barometerkammer Luft von etwas
über 30 mm Spannung gelassen wird, wodurch das Instrument den
auf 0°C reduzierten Barometerstand angibt. Dieser Luftraum muß so
groß als möglich gemacht werden, um eine möglichst geringe Span-
nungsänderung durch Änderung des Kammervolumens zu erzielen.
Die Luftpumpe wird unter dem Hahn angesetzt und nach Erreichung
des gewünschten Druckes wird der Hahn geschlossen. Er wird dann
in Vaseline gestellt, um das Eindringen von Luft zu verhüten. Das
Instrument kann leicht transportiert und bequem abgelesen werden,
wird sich also zu Stationsbarometern gut eignen.

Wenn ein Wagemanometer dazu dienen soll, die Spannung in
einem Gefäß, wie bei den Aneroidprüfungsapparaten, zu messen, so
tritt störend auf, daß noch das Barometer abgelesen werden muß, da
es nur die Differenz zwischen dem inneren und äußeren Druck angibt.
Ich richtete daher mein Bestreben darauf, den Einfluß der Barometer-
standsänderungen zu kompensieren. Dadurch entstand das in Fig. 20
dargestellte Instrument, welches auch auf der Hygieneausstellung sich
befand und dessen Theorie noch ausführlich besprochen werden soll.

Die Messung des Winddruckes durch die Stauplatten gab dann
Veranlassung, an die Konstruktion eines Wagemanometers mit
beweglicher Röhre für sehr kleine Druckdifferenzen zu gehen.

Die Theorie der Wagemanometer mit beweglicher Röhre habe
ich in meinen früheren Arbeiten eingehend behandelt. Im nach-
stehenden lasse ich die Theorie der Wagemanometer mit bewege-
lichem Trog in etwas knapperer Behandlung folgen und schließe
daran die Theorie der Wagemanometer für kleine Druckdifferenzen.

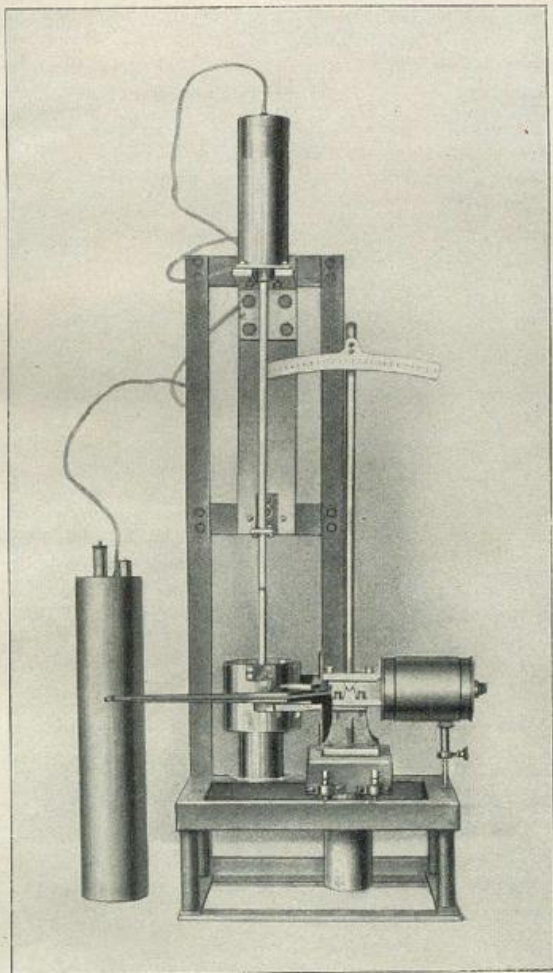
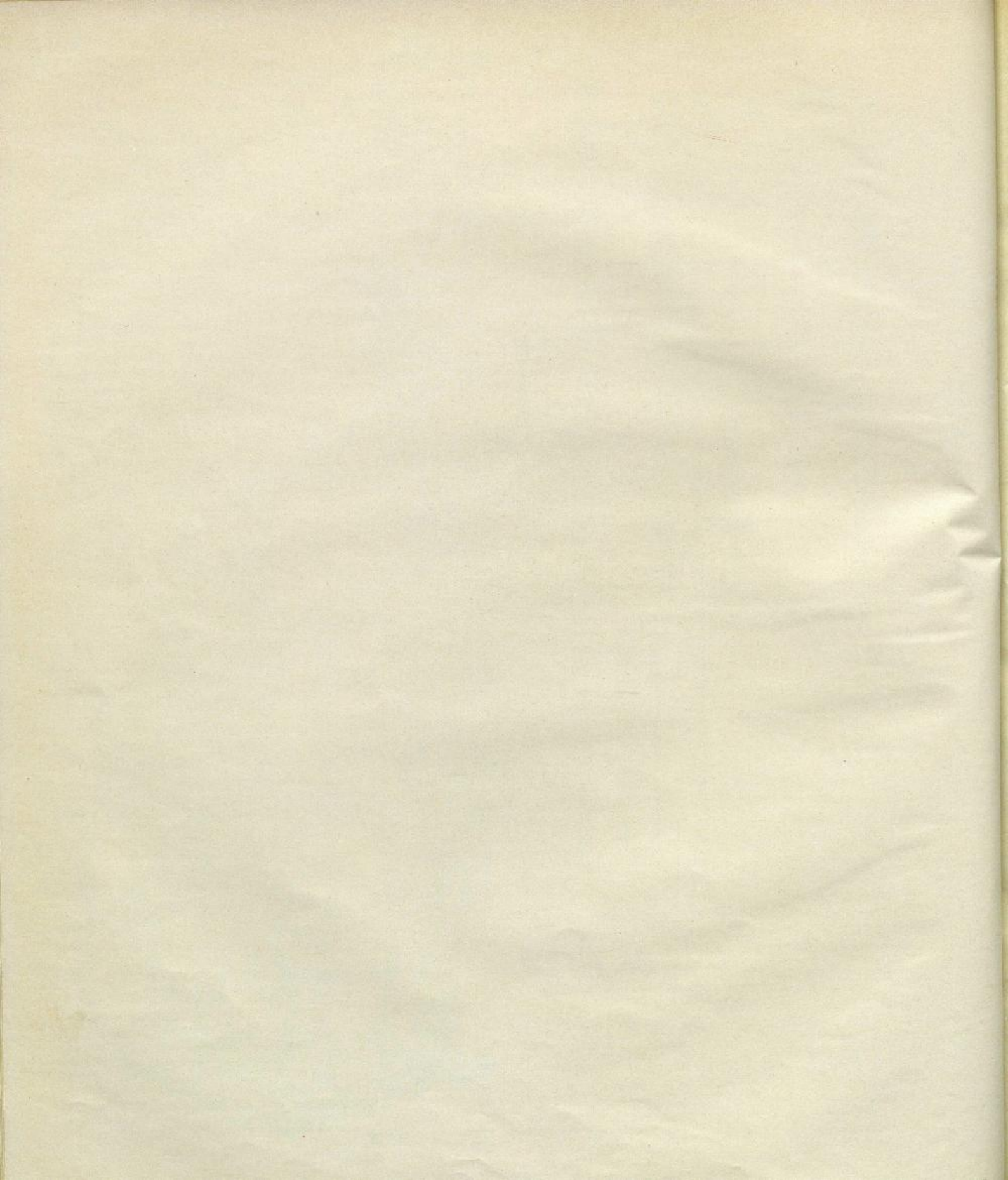


Fig. 21



Das Wagebarometer mit beweglichem Trog und Temperaturkompensation.

Die Grund- und Bewegungsgleichungen.

Bei dem in Fig. 21 und 22 dargestellten Instrument wird angenommen, daß die Röhre M_2 feststeht. Über das enge Rohr ist unten ein zylindrischer Körper gesteckt worden. Dieser taucht in Quecksilber, welches sich in dem an einem Wagebalken hängenden Trog M_1 befindet. Am oberen Ende der Röhre führt ein enges Rohr von der Barometerkammer nach dem Gefäß V_0 , an dem sich eine Barometerprobe und ein verschließbarer Ansatz befinden. Durch eine an den letzteren angelegte Luftpumpe wird das Quecksilber im Barometerrohr bis zum Niveau z gesaugt. Die Barometerprobe läßt die Spannung s der noch in V_0 und also auch in der Barometerkammer befindlichen Luft ablesen.

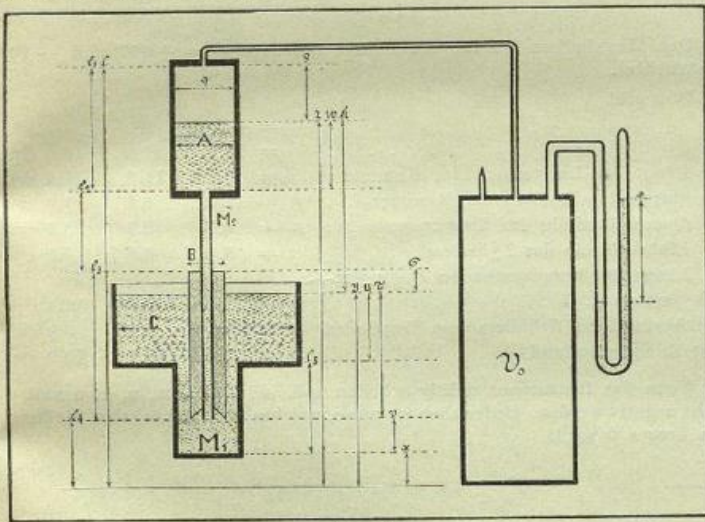


Fig. 22

Die Größen A , B und C in Fig. 22 bedeuten die Gewichte von Quecksilberzylindern von 1 cm Länge in Gramm. q ist der Querschnitt der Kammer in Quadratcentimetern. M_1 ist das Gewicht des Quecksilbers, welches der untere Teil des Troges von der Länge l_3 cm fassen kann und M_2 das Gewicht des Quecksilbers im engen Teil des Barometerrohres von der Länge $(l_2 + l_3)$ cm.

Die Stellung des Troges wird durch die Länge x cm bestimmt. Es wird angenommen, daß für den Wagebalken die Gleichung

$$1) \quad P = P_0 - K(x - x_0)$$

bestimmt worden ist. G soll das Gewicht des leeren Troges sein. Es ist dann

$$2) \quad P = G + M_1 + C u \quad \text{oder}$$

$$2a) \quad \Pi = P - G - M_1 + C u.$$

Das Gewicht des ganzen im Apparat vorhandenen Quecksilbers ist

$$3) \quad M = M_1 + M_2 + A w + C u - B \tau$$

und zwischen den Längen bestehen die Beziehungen

$$4) \quad \begin{aligned} l &= l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = \rho + z \\ z &= w + l_2 + l_3 + l_4 = h + y \\ y &= l_2 + l_4 - \sigma = u + l_3 + x = \tau + v + x \\ l_4 &= v + x. \end{aligned}$$

Die Zustandsgleichung der eingeschlossenen Luft ist

$$5) \quad V s = (V_0 + q \rho) s = R T,$$

worin R eine zu bestimmende Konstante ist.

b soll der auf 0°C reduzierte Barometerstand in Zentimetern, t die Temperatur des Instruments und α der Ausdehnungskoeffizient des Quecksilbers sein. Es ist dann

$$6) \quad b(1 + \alpha t) = h + s.$$

Wenn man die Temperatureinwirkung nur so weit berücksichtigt, als sie mit der Änderung der Dichte des Quecksilbers zusammenhängt, so erhält man die folgenden

Differentialgleichungen:

$$7) \quad \begin{aligned} dP &= -K \cdot dx & dz &= -d\rho = +dw \\ 0 &= K dx + C du + \Pi' dt & dy &= -d\sigma = +d\tau \\ 0 &= A dw + C du - B d\tau + M' dt & du &= dy - dx \\ 0 &= V ds + s q d\rho - R dt & dv &= -dx \\ dh &= dz - dy & db &= dh + ds - \alpha b dt. \end{aligned}$$

Hierzu ist noch folgendes zu bemerken. Die Differentiation von 2a ergibt die Glieder $dM_1 + u dC$.

Da u und P hier als Konstante auftreten, kann man auch schreiben

$$(dM_1 + u dC) = d(M_1 + uC) = d\Pi = \frac{d\Pi}{dt} dt = \Pi' dt.$$

Gleichung 3 liefert die gleichartigen Ausdrücke

$$dM_1 + dM_2 + w dA + u dC - \tau dB = dM = \frac{dM}{dt} dt = M' dt.$$

Π und M sind Quecksilbermassen, welche in bestimmt abgegrenzte bis auf den Temperatureinfluß konstante eiserne Gefäße gehen. Π' und M' stellen dann die bei Temperaturerhöhung um 1°C ausfließenden Quecksilbermengen vor. Ist β der Längenausdehnungskoeffizient des Eisens, so erhält man

$$8) \quad \begin{aligned} \Pi' &= d\Pi : dt = -(\alpha - 3\beta) \Pi \\ M' &= dM : dt = -(\alpha - 3\beta) M. \end{aligned}$$

Das Gleichungssystem 7 liefert die folgenden Ausdrücke:

$$9) \quad \begin{aligned} dz &= -d\rho = +dw - \frac{BC + (C-B)K}{AC} dx + \frac{(C-B)\Pi' - CM'}{AC} dt \\ dy &= -d\sigma = +d\tau = \frac{C-K}{C} dx - \frac{\Pi'}{C} dt \\ du &= -\frac{K}{C} dx - \frac{\Pi'}{C} dt \\ dh &= \frac{(C+A-B)K - C(\alpha - \beta)}{AC} dx + \frac{(C+A-B)\Pi' - CM'}{AC} dt. \end{aligned}$$

Diese Gleichungen vereinfachen sich wesentlich, wenn die Bedingung

$$B = A$$

eingeführt wird und ergeben dann

$$10) \quad dz = -d\rho = +dw = \frac{AC + (C-A)K}{AC} dx + \frac{(C-A)\Pi' - CM'}{AC} dt$$

$$dy = -d\sigma = +d\tau = \frac{C-K}{C} dx - \frac{\Pi'}{C} dt$$

$$du = -\frac{K}{C} dx - \frac{\Pi'}{C} dt$$

$$dh = +\frac{K}{A} dx + \frac{\Pi' - M'}{A} dt.$$

Die hieraus folgende Gleichung

$$11) \quad \frac{dh}{dx} = +\frac{K}{A}$$

gestattet K und A so zu wählen, daß eine passende Bewegungsgröße erreicht werden kann.

Es sollen diese Formeln auf das in Wahnsdorf in Tätigkeit befindliche Instrument angewendet werden. Wie bereits erwähnt wurde, kann bei diesem die Trogstellung an einem Gradbogen abgelesen werden, man kann also alle Bewegungsvorgänge statt durch x durch den Ausschlag des Zeigers ausdrücken. Ist also φ der Ausschlag in Bogengraden, x_0 die $\varphi = 0^\circ$ entsprechende Stellung des Troges, so ergibt der Abstand 12.5 cm des Angriffspunktes von P von der Drehachse

$$12) \quad x - x_0 = 12.5 \times \text{arc } 1^\circ \times \varphi = 0.218 \varphi.$$

Durch Messungen wurden gefunden

$$13) \quad A = B = 325 \text{ gr} \quad C = 1220 \text{ gr} \quad K = 556 \text{ gr}$$

$$G = 1922 \text{ gr} \quad M_1 = 3072 \text{ gr} \quad M_2 = 496 \text{ gr} \quad q = 23.9 \text{ qcm}$$

$$P = 8444 - 556 (x - x_0) = 8444 - 121 \varphi \text{ gr.}$$

Gewicht des Quecksilbers im Trog ($M_1 + Cu$) = 3072 + 1220 u gr.
Gewicht des Quecksilbers in der Röhre ($M_2 + Aw$) = 496 + 325 w gr.

Nach der Aufstellung in Wahnsdorf fanden sich folgende Messungsergebnisse:

$$14) \quad x = 20.8 + 0.218 \varphi \text{ cm.}$$

Auf den Trog wurde ein wegnehmbares Zusatzgewicht von 185 gr aufgelegt und es wurden 6690 gr Quecksilber eingegossen, woraus folgt

$$15) \quad G = 1922 + 185 = 2107 \text{ gr}$$

$$M = 6690 \text{ gr}$$

$$\Pi - P - G = 8444 - 121 \varphi - 2107 = 6337 - 121 \varphi \text{ gr.}$$

Nach 2 a erhält man weiter

$$16) \quad Cu = \Pi - M_1 = 6337 - 121 \varphi - 3072 = 3265 - 121 \varphi \text{ gr}$$

$$u = 2.68 - 0.099 \varphi \text{ cm.}$$

Weiter ergaben die Messungen

$$l = 116.6 \text{ cm} \quad l_1 = 18.0 \text{ cm} \quad l_2 = 66.1 \text{ cm} \quad l_3 = 8.0 \text{ cm} \quad l_4 = 24.5 \text{ cm}$$

$$l_5 = 7.8 \text{ cm} \quad l_6 = 9 \text{ cm.}$$

Dies liefert nach 14 und 16

$$17) \quad y = l_3 + u + x = 7.8 + (2.68 - 0.099 \varphi) + (20.8 + 0.218 \varphi)$$

$$= 31.3 + 0.119 \varphi \text{ cm.}$$

$$18) \quad \tau = y - l_1 = 31.3 + 0.119 \varphi - 18.0 = 13.3 + 0.119 \varphi \text{ cm.}$$

Aus 3, 16 und 18 folgt

$$19) \quad Aw = M - M_1 - M_2 - Cu + B\tau$$

$$Aw = 6690 - 3072 - 496 - (3265 - 121 \varphi) + 325 (6.8 + 0.119 \varphi)$$

$$Aw = 2067 + 160 \varphi \text{ gr}$$

$$w = 6.36 + 0.491 \varphi \text{ cm} \quad \text{und weiter}$$

$$z = w + l_2 + l_3 + l_4 = (6.36 + 0.491 \varphi) + 66.1 + 8.0 + 24.5$$

$$= 105.0 + 0.491 \varphi \text{ cm}$$

und aus 17 und 19

$$20) \quad h = z - y = (105.0 + 0.491 \varphi) - (31.3 + 0.119 \varphi) = 73.7 + 0.372 \varphi \text{ cm}$$

sowie endlich

$$20 a) \quad v = l_4 - x = 24.5 - (20.8 + 0.218 \varphi) = 3.7 - 0.218 \varphi \text{ cm}$$

$$p = l - z = 116.6 - (105.0 + 0.491 \varphi) = 11.5 - 0.491 \varphi \text{ cm}$$

$$\sigma = l_3 + l_1 - y = 8.0 + 18.0 - (31.3 + 0.119 \varphi) = 1.2 - 0.119 \varphi \text{ cm.}$$

Der Wagebalken ist für Ausschläge zwischen $\varphi = +10^\circ$ und -10° eingerichtet.

Dies gibt

	$\varphi = +10^\circ$	0°	-10°
für die Stellung x	= 23.0	20.8	18.6 cm
die Länge des Luftraumes der Kammer	$\varphi = 6.6$	11.5	16.4 cm
.. Quecksilbersäule in der Kammer	w = 11.3	6.4	1.5 cm
.. Quecksilberhöhe im Trog	u = 1.7	2.7	3.7 cm
.. Eintauchtiefe des Zylinders	$\tau = 8.0$	6.8	5.6 cm
.. Länge des herausragenden Teiles derselben	$\sigma = 0.0$	1.2	2.4 cm
den Abstand des Zylinders vom Trogboden	v = 1.5	3.7	5.9 cm
den Manometerstand	h = 77.4	73.7	70.0 cm.

Wenn das Instrument richtig arbeiten soll, dürfen ρ , w, u, τ , σ und v nicht negativ werden. Bedenklich ist nur σ , welches bei der höchsten Stellung des Troges 0 wird.

Die Einwirkung der Temperaturänderung.

In den Formeln 8 bis 10 wird eingesetzt nach 15

$$\Pi_0 = P_0 - G = 6337 \text{ gr}$$

und

$$M = 6690 \text{ gr} \quad \alpha = 0.000182 \quad 3\beta = 0.000032,$$

was ergibt

$$\Pi' = -(\alpha - 3\beta)\Pi_0 = -0.95 \text{ gr} \quad M' = -(\alpha - 3\beta)M_0 = -1.00 \text{ gr.}$$

Dann erhält man nach 10

$$21) \quad dz = +2.255 dx + 0.00093 dt$$

$$dy = +0.544 dx + 0.00078 dt$$

$$du = -0.456 dx + 0.00078 dt$$

$$dh = +1.711 dx + 0.000154 dt$$

$$db = ds + 1.711 dx + [0.000154 - 0.000182 b] dt.$$

Ist die Kammer luftfrei, so ist $ds = 0$ und dann sind alle 5 Gleichungen 21 integrabel. Sie lehren, daß der Temperatureinfluß auf h verschwindend klein ist, so daß

$$h = h_0 + 1.711 (x - x_0)$$

den Wert von h ohne weiteres in Quecksilbersäule von t° angibt. Dagegen erhält man

$$b = b_0 + 1.711 (x - x_0) - 0.000182 b (t - t_0)$$

und hat also eine Temperaturkorrektur anzubringen.

Es entsteht somit die Frage, ob das Instrument so eingerichtet werden kann, daß die Temperaturkorrektur wegfällt.

Nach 7 und 10 hat man, wenn $ds = 0$, $db = db - \alpha b dt$ oder

$$db = +\frac{K}{A} dx + \frac{\Pi' - M'}{A} dt - 0.000182 b dt.$$

Aus 2 a und 4 kann man aber ableiten

$$\Pi - M = A(\tau - w) - M_2 = A(l_2 + l_3) - Ah - M_2.$$

Der Röhre und dem Trog wurden die aus den Figuren ersichtlichen Formen gegeben, um M_1 und M_2 möglichst klein machen, also soviel als möglich Quecksilber ersparen zu können. Man kann aber auch eine von oben bis unten zylindrische Röhre mit dem Querschnitt A anwenden, und dann wird

$$M_2 = A(l_2 + l_3).$$

Die Bedingung $\Lambda = B$ läßt sich angenähert ebenfalls erreichen. Dann wird nahezu

$$\begin{aligned} \Pi - M &= -\Lambda h & \Pi' - M' &= +\alpha \Lambda h \\ dh &= +\frac{K}{\Lambda} dx + \alpha h dt \\ db &= +\frac{K}{\Lambda} dx + \alpha (h - b) dt + ds. \end{aligned}$$

Ist $s = \text{Null}$, so wird $h = b$ und somit

$$b = b_0 + \frac{K}{\Lambda} dx.$$

das Instrument zeichnet also die auf 0° reduzierten Barometerstände auf. Dazu sind aber

$$74 \times 325 - 496 = 24\,050 - 496 = 23\,554 \text{ gr.},$$

also fast 24 kg mehr Quecksilber nötig.

Dabei kann die Temperaturkompensation nur angenähert erreicht werden.

Das zweite Verfahren besteht darin, daß man nach Wilds Vorschlag in der Barometerkammer Luft von der Spannung s läßt, ihr dabei aber ein möglichst großes Volumen gibt. Nach 5 und 7 ist dann

$$s = \frac{RT}{V} = \frac{RT}{V_0 + q\rho} \quad ds = +\frac{sq}{V} dx + \frac{s}{T} dt.$$

Dies gibt nach 7 und 10

$$\begin{aligned} db &= dh + ds - \alpha b dt. \\ 22) \quad db &= \left[\frac{K}{\Lambda} + \frac{sq}{V} \frac{AC + (C - \Lambda)K}{AC} \right] dx \\ &+ \left[\frac{sq}{V} \frac{(C - \Lambda)\Pi' - CM'}{AC} + \frac{s}{T} - \alpha b \right] dt. \end{aligned}$$

Für $V = \infty$ vereinfacht sich diese Formel in

$$22 a) \quad db = \frac{K}{\Lambda} dx + \left[\frac{s}{T} - \alpha b \right] dt.$$

Die Bedingung der Temperaturkompensation ist dann

$$23) \quad s = \alpha b T,$$

woraus zu ersehen ist, daß der Temperatureinfluß vollständig nicht weggebracht werden kann. Man erhält für

$T =$	253°	273°	293°
$b = 70.0 \text{ cm}$	$s = 3.2$	3.5	3.7 cm
75.0	$s = 3.5$	3.8	4.0
80.0	$s = 3.7$	4.0	4.2

Ist

$$V_0 = \text{Null} \quad V = q\rho,$$

so wird

$$22 b) \quad db = \left[\frac{K}{\Lambda} + \frac{s}{\rho} \frac{AC + (C - \Lambda)K}{AC} \right] dx + \left[\frac{s}{\rho} \frac{(C - \Lambda)\Pi' - CM'}{AC} + \frac{s}{T} - \alpha b \right] dt.$$

In dem vorliegenden Fall ergibt das Einsetzen der Zahlen

$$db = \left[1.711 + 2.255 \frac{s}{\rho} \right] dx + \left[0.00093 \frac{s}{\rho} + \frac{s}{T} - \alpha b \right] dt.$$

Danach besteht die Bedingungsgleichung 23 für die Temperaturkompensation fast unverändert weiter.

Dabei bekommt aber das auf die Bewegungsgröße dx/db einwirkende Glied eine besondere Bedeutung. Es ist nach 20

$$f(s) = 2.255 \frac{s}{\rho} = \frac{2.255 s}{11.5 - 0.491 \varphi}.$$

sonach für

s	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
$\varphi = +10^\circ$	$f(s) = 0.34$	0.68	1.02	1.36
0°	0.20	0.40	0.60	0.80
-10°	0.14	0.28	0.42	0.56

Sonach würde mit dem Barometerstand b b/dx stark anwachsen, die Bewegungsgröße dx/db sich aber stark vermindern. Die Differentialgleichung bleibt integrierbar, liefert aber eine ziemlich komplizierte Form für $b = f(x)$.

Bei der ersten Aufstellung des Instruments in Wahnsdorf wurde zunächst das Gefäß V_0 weggelassen, um zu sehen, ob das Eisenrohr dicht hält. Das Volumen der Kammer ist etwas größer als $q\rho$. Es fanden Vergleichungen der Stellung φ mit dem Stationsbarometer statt, welche das nachstehende Ergebnis lieferten.

φ	b	h	$b - h$	n
-4.09	726.1	721.8	4.3	7
-3.82	27.2	22.8	4.4	5
-3.15	29.6	25.3	4.3	5
-2.78	31.2	26.7	4.5	5
-2.19	33.1	28.8	4.3	11
-1.75	34.7	30.5	4.2	11
-1.19	36.9	32.6	4.3	20
-0.70	38.8	34.4	4.4	25
-0.21	40.4	36.3	4.1	14
+0.31	42.3	38.1	4.2	9
+0.70	44.0	39.6	4.4	13
+1.20	45.8	41.5	4.3	3
+1.77	(48.6)	43.3	(5.3)	7
$\Delta \varphi$	Δb	Δh	$\Delta b : \Delta \varphi$	
2.34	8.6	8.7	0.368	
2.39	8.9	8.9	0.372	

Die Zahlen sind Mittelwerte aus n Beobachtungen. Unter b stehen die Mittel aus den auf 0°C reduzierten Ablesungen am Stationsbarometer.

Die Zahlen unter h wurden nach Formel 20 berechnet. Wenn man die letzten unsicheren Zahlen für $\varphi = +1.77$ unberücksichtigt läßt, liegen die Differenzen $b - h$ zwischen 4.1 bis 4.5 mm. Die Größen h hätten auf 0° reduziert werden sollen, was wegen Unterlassen der Temperaturablesungen nachträglich nicht möglich ist. Die Korrekturen sind auf mindestens 2 mm zu veranschlagen, so daß die Spannung der Luft in der Kammer ungefähr 2 mm betragen wird. Am Fuß der Tabelle wurde die Größe $\Delta b : \Delta \varphi$ abgeleitet und mit dem theoretischen Wert 0.372 fast vollständig übereinstimmend gefunden. Wenn aber 2 mm die Spannungs s in der Kammer wäre, hätte $\Delta b : \Delta \varphi = 0.39$ bis 0.40 gefunden werden müssen. K und Λ sind sicher bestimmt, die anderen bei Ableitung der Formel 20 in Rechnung kommenden Werte, namentlich die l , sind nur ungefähr ermittelt worden. Sonach könnte der theoretisch abgeleitete Wert beibehalten und angenommen werden, daß s wesentlich kleiner als 2 mm ist. Es wurde aber $\Delta b : \Delta \varphi = 0.384$ angenommen, wie es sich unter Berücksichtigung der Beobachtungen $\varphi = +1.77$ ergeben haben würde. Die Schreibfeder hat den Abstand $125 \times 5 = 625 \text{ mm}$ von der Drehachse, sonach wird 1 mm Barometerstand durch $5 \times 0.568 = 2.84 \text{ mm}$ Ordinattendifferenz dargestellt werden. Danach wurde eine Ablesvorrichtung hergestellt. Die Differenz der mit dieser Vorrichtung aus den Barogrammen erhaltenen Barometerstände mit den Ablesungen am Stationsbarometer ist so konstant, daß zur Abänderung des Verfahrens zunächst kein Grund vorliegt.

Bewegende Kraft und Auflagegewichte.

Aus 1, 2 und 3 ergeben sich für $A = B$ und $s = 0$ die Differentialgleichungen

$$\begin{aligned} dP &= -K dx \\ dP &= dG + C du \\ 0 &= A db + C du. \end{aligned}$$

dG stellt ein Gewicht vor, welches auf den Trog aufgelegt oder von ihm weggenommen werden kann.

1) Bewegende Kraft. $dx = 0 \quad dG = 0.$

Hält man den Wagebalken fest, was durch die Reibungswiderstände geschehen kann, so ist $dx = 0$. Trotzdem wird dP nicht zu Null, sondern es bewirkt der steigende Luftdruck eine Verminderung des Zuges des Trogs am Aufhängepunkt. Da $dG = 0$ angenommen wird, folgt

$$dP = C du = -A db,$$

also

$$\frac{dP}{du} = +C \quad \frac{dP}{db} = -A.$$

Hält man also den Wagebalken fest und steigt das Barometer um 1 cm, so wird der Trog um $A = 325$ gr leichter und das Gegengewicht des Hebels sucht mit 325 gr Kraft den Widerstand zu überwinden. Sonach ist die bewegende Kraft = $\mp A$ gr für $db = \pm 1$ cm.

Da in dem vorliegenden Fall $A = 325$ gr ist, wird $db = \pm 0.01$ cm die bewegende Kraft 3.25 gr ausüben. Die Schreibfeder hat den fünffachen Abstand von der Drehachse als der Trog, es darf also der Widerstand, den sie durch Reibung am Papier ausübt, 0.65 gr nicht erreichen, wenn die Druckänderung um 0.1 mm eine Bewegung hervorbringen soll.

2) Auflage-Gewichte. $db = 0.$

Bleibt der Barometerstand unverändert und legt man ein Gewicht ΔG auf den Trog, so bewegt dieser sich um dx . Die Differentialgleichungen ergeben

$$du = 0 \quad \frac{dG}{dx} = -K = -556 \text{ gr.}$$

Werden also 556 gr aufgelegt, so tritt die Bewegung -1 cm ein, während das Wegnehmen von 556 gr ein Ansteigen des Troges um 1 cm bewirkt.

Nun kann man weiter schreiben

$$\frac{dG}{dx} = \frac{dG}{db} \cdot \frac{db}{dx} = -K.$$

Nach Gleichung 10 ist aber

$$\frac{db}{dx} = +\frac{K}{A},$$

sonach wird

$$\frac{dG}{db} = -A = -325 \text{ gr.}$$

Legt man 325 gr auf, so senkt sich der Trog um eine Größe x , welche durch das Sinken des Barometerstandes um 1 cm bei $dG = 0$ bewirkt wird. Sonach gibt das Instrument b um 1 cm zu klein. Das Wegnehmen von 325 gr läßt dann b um 1 cm zu groß finden. Mit x ändern sich alle anderen Längen, nur b und u bleiben unverändert. Die Gleichungen 7 ergeben

	höchster des Instruments	tiefster Stand
	$\Delta G = +556 \text{ gr}$	$\Delta G = -556 \text{ gr}$
	$\Delta x = -1 \text{ cm}$	$\Delta x = +1 \text{ cm}$
$d\rho = -dx$	$\rho = 6.6 + 1 = 7.6$	$16.4 - 1 = 15.4$
$dw = +dx$	$w = 11.3 - 1 = 10.3$	$1.5 + 1 = 2.5$
$du = 0$	$u = 1.7 \pm 0 = 1.7$	$3.7 \pm 0 = 3.7$
$d\tau = +dx$	$\tau = 8.0 - 1 = 7.0$	$5.6 + 1 = 6.6$
$d\sigma = -dx$	$\sigma = 0.0 + 1 = 1.0$	$2.4 - 1 = 1.4$
$d\nu = -dx$	$\nu = 1.5 + 1 = 2.5$	$5.9 - 1 = 4.9$
$db = 0$	$b = 77.4 + 0 = 77.4$	$70.0 \pm 0 = 70.0$

In den vorstehenden Zahlen wurde die Rechnung auf Seite 36 weitergeführt. In der höchsten Stellung des Troges $\varphi = +10^\circ$ waren für die Längen ρ, w usw. die Zahlen angegeben worden. Alle dürfen nicht negativ werden und u muß kleiner als die Höhe des oberen Trogteiles, 9 cm, bleiben. Der Wert $\sigma = 0.0$ lehrt, daß das Quecksilber bis zur oberen Grenze des Tauchzylinders steht und daß bei $\varphi > +10^\circ$ er vollständig in das Quecksilber kommen, φ also einen kleineren Wert bekommen würde. Das Auflegen von 556 gr, was allein hier in Frage kommen kann, verbessert alle diese Verhältnisse, es kann also einem weiteren Wachsen von b unbedenklich entgegengesehen werden. Das Gleiche lehrt die letzte Zahlenreihe, welche die Längen angibt, wenn bei $\varphi = -10^\circ$ 556 gr weggenommen werden, so daß der Trog um 1 cm ansteigt. Diese Hilfsmittel machen also das Instrument von $b = 70.0 - 1.7 = 68.3$ bis $77.4 + 1.7 = 79.1$ cm und noch größere Druckunterschiede verwendbar.

Das Wagemanometer mit beweglichem Trog und Kompensation gegen die Schwankungen des Luftdruckes.

Die Grund- und Bewegungsgleichungen.

Die Kompensation der Luftdruckschwankungen wird bei dem in Fig. 20 dargestellten Instrument durch einen am Trog sitzenden Dorn, welcher in das Quecksilber im offenen Schenkel eines Heberbarometers taucht, bewirkt. Das Instrument gibt dann die Spannung der Luft in dem mit ihm in Verbindung stehenden Raum bei jedem Barometerstand an.

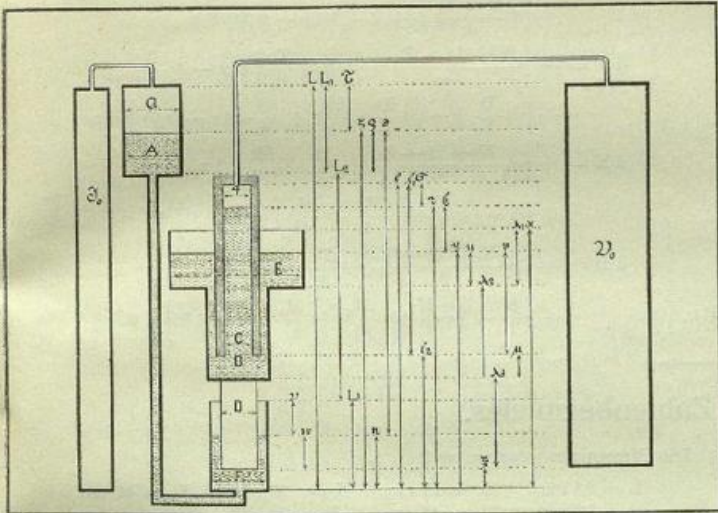


Fig. 23

In Fig. 23 steht die Barometerkammer mit einem größeren Luftraum, J_0 , in Verbindung, um zu erörtern, ob sich auch eine Temperaturkompensation wie beim Barometer erreichen läßt. Das Gefäß V_0 kann man sich als jeden beliebigen Luftraum, in welchem die Spannung gemessen werden soll, vorstellen.

Das Instrument ist in meiner Werkstatt soweit fertiggestellt worden, daß Messungen an ihm vorgenommen werden konnten. Es wurden aber die aus Fig. 20 ersichtlichen Glasteile, wie beim Barographen, durch Eisentröhen ersetzt, da das Instrument gar zu zerbrechlich erschien.

A, B, C, D und E sind die Gewichte von Quecksilberzylindern von 1 cm Länge in Grammen. Q ist der Querschnitt der Barometerkammer und q der der Manometerröhre, beide in Quadratcentimetern. Das Volumen des mit der Barometerkammer verbundenen Zylinders ist J_0 und V_0 das des Gefäßes, in dem sich die Luft befindet, deren Spannung H gemessen werden soll. Die Spannung in J_0 soll S sein. Das Manometerrohr steht fest. Der Trog, dessen Gewicht G Gramm ist, hängt an einem Wagebalken und es soll der Zug P am Aufhängepunkt des Troges durch die Gleichung

$$1) \quad P = P_0 - K(x - x_0),$$

worin x die Stellung des Troges bedeutet, gegeben sein.

Für P kann man die weiteren Gleichungen

$$2) \quad P = G + m_1 + E u - D w \quad \Pi = P - G = m_1 + E u - D w$$

aufstellen, worin m_1 das Gewicht des Quecksilbers ist, welches der untere

Teil des Troges auf die Länge λ_2 aufzuehen kann. Die Quecksilbermasse M_1 Gramm im Manometer ist dann

$$3) \quad M_1 = m_1 + E u + C h - (B - C) v.$$

Im Barometer befindet sich die Quecksilbermasse M_2 Gramm, welche, wenn m_2 die Masse im engen Teil des Rohres bedeutet, durch

$$4) \quad M_2 = m_2 + A \rho + F \eta - D w$$

gegeben ist.

Für die Spannung S in der Barometerkammer erhält man

$$5) \quad \begin{aligned} J S &= (J_0 + Q \tau) S = R T \\ b(1 + \alpha t) &= S + s. \end{aligned}$$

Hierin sind $T = 273 + t$ die Temperatur des Instruments, R eine zu bestimmende Konstante, b der auf 0° reduzierte Barometerstand und s die Höhe der Quecksilbersäule im Barometerrohr, die Längen in Zentimetern gemessen. α ist der Ausdehnungskoeffizient des Quecksilbers.

Für die Luft im Gefäß V_0 erhält man

$$6) \quad b(1 + \alpha t) = H + h.$$

h ist die Höhe der Quecksilbersäule im Manometer, welche positiv bei Minderdruck gerechnet werden soll. Weitere Annahmen über V_0 sind zunächst nicht nötig.

Hierzu kommen noch die Gleichungen zwischen den Längen

$$7) \quad \begin{aligned} L &= L_1 + L_2 + L_3 & 0 &= d\tau + d\zeta & d\xi &= dx \\ L &= \tau + \zeta & 0 &= d\rho - d\zeta & du &= dy - dx \\ \zeta &= \rho + L_2 + L_3 & 0 &= ds + d\eta - d\zeta & dv &= dy \\ l &= l_1 + l_2 & 0 &= d\sigma + dz & dw &= d\zeta - ds - dx \\ \zeta &= s + \eta & 0 &= dh + dy - dz & d\eta &= d\zeta - ds \\ l &= \sigma + z & 0 &= du + d\zeta - dy & d\tau &= -d\zeta \\ z &= h + y & 0 &= dv + d\mu + d\xi - dy & d\sigma &= -dh - dy \\ y &= u + \lambda_2 + \lambda_3 + \xi & 0 &= d\mu + d\xi & dz &= dh + dy \\ y &= v + \mu + \lambda_3 + \xi & 0 &= d\xi - dx & & \\ l_2 &= \mu + \lambda_3 + \xi & 0 &= dv + d\eta & & \\ x &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \xi & 0 &= dw + d\xi - d\eta & & \\ L_3 &= v + \eta & & & & \\ \eta &= w + \xi & & & & \end{aligned}$$

Aus den Gleichungen 1 bis 6 folgt

$$8) \quad \begin{aligned} d\Pi &= -K dx = E du - D dw + [dm_1 + u dE - w dD] \\ 0 &= E du + C dh - (B - C) dv + [dm_1 + u dE + h dC - v d(B - C)] \\ 0 &= A d\rho + F d\eta - D dw + [dm_2 + \rho dA + \eta dF - w dD] \\ 0 &= J dS + S Q d\tau - R dt \\ 0 &= dH + dh - db - \alpha b dt \\ 0 &= dS + ds - db - \alpha b dt. \end{aligned}$$

Es wird angenommen, daß die Längenänderungen durch dt vernachlässigt werden dürfen und daß nur die Glieder bei der Differentiation zu berücksichtigen sind, welche mit der Änderung der Dichte des Quecksilbers zusammenhängen. Man erhält dann nach den Ausführungen auf Seite 35

$$9) \quad \begin{aligned} \Pi' &= \frac{d\Pi}{dt} = -(\alpha - 3\beta)\Pi, & M'_1 &= \frac{dM_1}{dt} = -(\alpha - 3\beta)M_1, \\ & & M'_2 &= \frac{dM_2}{dt} = -(\alpha - 3\beta)M_2. \end{aligned}$$

Es wird weiter vorläufig gesetzt

$$10) \quad \begin{aligned} K_1 &= K + D - E \\ K_2 &= E - (B - C) = E \\ K_3 &= A + (F - D) = A \end{aligned} \quad \varphi = \frac{R}{J} = \frac{S}{T}$$

Drückt man endlich $du, dw, dv, dp, d\eta$ und $d\tau$ durch $dx, d\zeta, dy, ds$ und dh aus, so erhält man das nachstehende Gleichungssystem:

$$11) \quad \begin{aligned} 0 &= K_1 dx + D ds + E dy - D d\zeta + \Pi' dt \\ 0 &= E dx - K_2 dy - C dh + M_1 dt \\ 0 &= D dx - (F - D) ds + K_3 d\zeta + M_2 dt \\ 0 &= dS + \frac{S}{J} Q d\tau - \varphi dt \\ 0 &= dH + dh - db - \alpha b dt \\ 0 &= dS + ds - db - \alpha b dt \end{aligned}$$

Wenn J genügend groß gemacht wird, kann $\frac{S}{J} Q d\tau = 0$ angenommen werden. Setzt man endlich

$$12) \quad \psi = \alpha b - \varphi,$$

so folgt zuerst

$$13) \quad \begin{cases} d\zeta = -\frac{D}{K_3} dx + \frac{F-D}{K_3} db + \left[\frac{F-D}{K_3} \psi - \frac{M_2'}{K_3} \right] dt \\ dy = -\frac{K_1 K_2 + DD}{E K_3} dx - \frac{AD}{E K_3} db \\ \quad - \left[\frac{AD}{E K_3} \psi + \frac{DM_2'}{E K_3} + \frac{K_3 \Pi'}{E K_3} \right] dt \\ dh = +\frac{K_1 K_2 K_3 + DD K_2 + EE K_3}{CE K_3} dx + \frac{AD K_2}{CE K_3} db \\ \quad + \left[\frac{AD K_2}{CE K_3} + \frac{K_2 K_3 \Pi'}{CE K_3} + \frac{D K_2 M_2'}{CE K_3} + \frac{E K_3 M_1'}{CE K_3} \right] dt \end{cases}$$

Weiter erhält man

$$14) \quad \begin{aligned} d\Pi &= -dh + db + \alpha b dt \\ &= -\frac{K_1 K_2 K_3 + DD K_2 + EE K_3}{CE K_3} dx + \left[1 - \frac{AD K_2}{CE K_3} \right] db \\ &\quad + \left[\left(1 - \frac{AD K_2}{CE K_3} \right) \alpha b + \frac{AD K_2}{CE K_3} \varphi - \frac{\Pi' K_2 K_3 + M_2' D K_2 + M_1' E K_3}{CE K_3} \right] dt \end{aligned}$$

Durchführung eines Zahlenbeispiels.

Die Manometerröhre besteht aus Stahlrohr 19/20 mm. Auswägung mit Quecksilber ergab $C = 38.0$ gr und $(B - C) = 4.3$ gr.

Für den Trog fand sich die Gleichung

$$M = 1944 + 316.5 u \text{ Gramm}$$

und für den Wagebalken

$$P = 4863 - 177.5 (x - x_0) \text{ Gramm.}$$

Weiter wurden durch Wägungen bestimmt an der Barometerröhre

$$\begin{aligned} F &= 141.4 \text{ gr} \\ \Lambda &= 167.3 \text{ gr.} \end{aligned}$$

Die aus 15 folgende Formel

$$D = \frac{CE(A + F)}{AK_2 + CE}$$

lieferte dann

$$D = 57.96 \text{ gr.}$$

Dies gibt für die Durchmesser des Dornes am Trog 2.33 cm und des unteren Schenkels des Barometers 3.64 cm, so daß die genügende Ringbreite der Quecksilberoberfläche 0.66 cm übrig bleibt. Mit diesen Zahlen erhält man

$$18) \quad \begin{aligned} d\zeta &= -0.230 dx + 0.333 db \\ &\quad + \left[0.333 \left(\alpha b - \frac{S}{T} \right) + 614.10^{-8} M_2 \right] dt \\ dy &= +0.215 dx - 0.122 db \\ &\quad - \left[0.122 \left(\alpha b - \frac{S}{T} \right) - 112.10^{-8} M_2 - 487.10^{-8} \Pi \right] dt \\ dh &= +6.567 dx + 1.000 db \\ &\quad + \left[\alpha b - \frac{S}{T} - 400.10^{-8} \Pi - 921.10^{-8} M_2 - 405.10^{-8} M_1 \right] dt \\ dH &= -6.567 dx \\ &\quad + \left[\frac{S}{T} + 400.10^{-8} \Pi + 921.10^{-8} M_2 + 405.10^{-8} M_1 \right] dt \end{aligned}$$

Die Kompensation des Instrumentes gegen die Schwankungen des Luftdruckes bedingt

$$15) \quad \frac{ADK_2}{CEK_3} = 1 \quad \text{oder} \quad \frac{D}{C} = \frac{E}{E - (B - C)} \cdot \frac{A + (F - D)}{A}$$

$(B - C)$ und $(F - D)$ sind positiv und können beliebig klein gegen E resp. A gemacht werden, woraus weiter als Bedingung

$$D > C \quad \text{aber nur wenig}$$

folgt.

Unter diesen Bedingungen wird

$$14a) \quad dH = -\frac{K_1 K_2 K_3 + DD K_2 + EE K_3}{CE K_3} dx + \left[\frac{S}{T} - \frac{\Pi' K_2 K_3 + M_2' D K_2 + M_1' E K_3}{CE K_3} \right] dt.$$

Zur Zahlenrechnung setze ich

$$16) \quad \delta = \frac{A}{A + F - D} \quad \varepsilon = \frac{E - (B - C)}{E} \quad \psi = \alpha b - \frac{S}{T}$$

Dies gibt

$$\frac{ADK_2}{CEK_3} = \delta \cdot \varepsilon \cdot \frac{D}{C} = 1$$

und

$$17) \quad \begin{aligned} d\zeta &= -\delta \frac{D}{A} dx + \delta \frac{F - D}{A} db \\ &\quad + \left[\delta \frac{F - D}{A} \psi + \delta \frac{M_2'}{A} (\alpha - 3\beta) \right] dt \\ dy &= -\left[\frac{K + D - E}{E} + \delta \frac{D}{E} \cdot \frac{D}{A} \right] dx - \delta \frac{D}{E} db \\ &\quad - \left[\delta \frac{D}{E} \psi - \left(\delta \frac{D}{E} \cdot \frac{M_2'}{A} + \frac{\Pi}{E} \right) (\alpha - 3\beta) \right] dt \\ dh &= +\left[\varepsilon \frac{K + D - E}{C} + \frac{D}{A} + \frac{E}{C} \right] dx + db \\ &\quad + \left[\psi - \left(\varepsilon \frac{\Pi}{C} + \frac{M_2}{A} + \frac{M_1}{C} \right) (\alpha - 3\beta) \right] dt \\ dH &= -\left[\varepsilon \frac{K + D - E}{C} + \frac{D}{A} + \frac{E}{C} \right] dx \\ &\quad + \left[\frac{S}{T} + \left(\varepsilon \frac{\Pi}{C} + \frac{M_2}{A} + \frac{M_1}{C} \right) (\alpha - 3\beta) \right] dt \end{aligned}$$

Die Messungen ergaben weiter

$$\begin{aligned} L &= 94 \text{ cm} & L_1 &= 17 \text{ cm} & L_2 &= 67 \text{ cm} & L_3 &= 10 \text{ cm} \\ l &= 59 \text{ cm} & l_1 &= 45 \text{ cm} & l_2 &= 14 \text{ cm} \\ \lambda_1 &= 5.5 \text{ cm} & \lambda_2 &= 25.5 \text{ cm} & \lambda_3 &= 10.0 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Es soll bei $b_0 = 75$ cm: $h_0 = 0$ $H_0 = 75$ cm $x_0 = 44$ cm $u_0 = 2.5$ cm $w_0 = 5.0$ cm $\zeta_0 = 2$ cm $\mu_0 = 2$ cm $s_0 = 7.5$ cm $S_0 = 0$ cm sein.

Als größte Bewegung des Troges ist $\Delta x = \pm 1.5$ cm gegeben und die größte Schwankung des Luftdruckes wird ± 3 cm angenommen. Das gilt

		Max.	Min.
$\zeta_0 = s_0 + \gamma_0 = 82.0$	$\zeta = 82.0 - 0.230 \Delta x + 0.333 \Delta b$	83.4	80.6
$\eta_0 = w_0 + \xi_0 = 7.0$	$\eta = 7.0 - 0.230 \Delta x - 0.667 \Delta b$	9.4	4.6
$\tau_0 = L - \zeta_0 = 12.0$	$\tau = 12.0 + 0.230 \Delta x - 0.333 \Delta b$	13.4	10.6
$\rho_0 = \zeta_0 - L_2 - L_3 = 5.0$	$\rho = 5.0 - 0.230 \Delta x + 0.333 \Delta b$	6.4	3.6
$\nu_0 = L_1 - \eta_0 = 3.0$	$\nu = 3.0 - 0.215 \Delta x + 0.122 \Delta b$	3.7	2.3
$w_0 = 5.0$	$w = 5.0 - 1.230 \Delta x - 0.667 \Delta b$	8.9	1.1
$\zeta_0 = 2.0$	$\zeta = 2.0 + 1.000 \Delta x$	3.5	0.5
$y_0 = u_0 + \lambda_2 + \lambda_3 = 40.0$	$y = 40.0 + 0.215 \Delta x - 0.122 \Delta b$	40.7	39.3
$z_0 = y_0 + h_0 = 40.0$	$z = 40.0 + 6.782 \Delta x + 0.878 \Delta b$	52.8	27.2
$h_0 = 0.0$	$h = 0.0 + 6.567 \Delta x + 1.000 \Delta b$	+12.9	-12.9
$u_0 = 2.5$	$u = 2.5 - 0.785 \Delta x - 0.122 \Delta b$	4.1	0.9
$v_0 = y_0 - \mu_0 - \lambda_3 = 26.0$	$v = 26.0 + 0.215 \Delta x - 0.122 \Delta b$	26.7	25.3
$\mu_0 = 2.0$	$\mu = 2.0 - 1.000 \Delta x$	3.5	0.5
$\sigma_0 = l - z_0 = 19.0$	$\sigma = 19.0 - 6.782 \Delta x - 0.878 \Delta b$	31.8	6.2
$H_0 = 75.0$	$H = 75.0 - 6.567 \Delta x$	84.9	65.1

Die Zahlen unter Max. und Min. geben die größten und kleinsten Werte an, welche diese Längen erreichen können. Es kommt darauf an, daß außer h namentlich die unterstrichenen Größen nicht Null oder gar negativ werden. σ darf außerdem nicht größer als $l_2 = 45$ cm und u nicht größer als $l_1 = 5.5$ cm werden. Weiter wurde gefunden

$$m_1 = 1944 \text{ gr} \quad m_2 = 231 \text{ gr.} \quad \text{Dies gibt}$$

$$P_0 = 4863 = G + m_1 + E u_0 - D w_0 = G + 2445 \text{ Gramm}$$

$$G = 2418 \text{ gr} \quad H_0 = 2445 \text{ gr}$$

$$M_1 = m_1 + E u_0 - (B - C) v_0 = 2619 \text{ gr}$$

$$M_2 = m_2 + A p_0 + F \gamma_0 - D w_0 = 1767 \text{ gr.}$$

Die Auflagegewichte.

Da bei $\Delta x = -1.5$ cm und $\Delta b = -3$ cm das Quecksilber immer noch zirka 14 cm hoch im Innern der Manometerröhre steht, wird das Instrument zur Messung noch größerer Spannungen H als 84.9 cm verwendet werden können, aber nicht für Spannungen H kleiner als 65.1 cm. Man wird dazu den Trog durch Wegnahme der Auflagegewichte zu entlasten haben. Nach den Gleichungen 1 bis 6 erhält man

$$20) \quad 0 = K dx + dG + E du - D dw$$

$$0 = E du + C dh - (B - C) dv$$

$$0 = A d\rho + F d\gamma - D dw$$

$$db = dH + dh = dS + ds.$$

Es soll bei dem Auflegen von dG $db = 0$, $dH = 0$, $ds = 0$ bleiben. Dann ergibt sich zuerst

$$dh = 0 \quad ds = 0$$

und das führt zu den Gleichungen

$$20a) \quad 0 = dG + (K + D - E) dx + E dy - D d\zeta$$

$$0 = (E - (B - C)) dy - E dx$$

$$0 = (A + F - D) d\zeta + D dx$$

oder auch

$$0 = dG + K_1 dx + E dy - D d\zeta$$

$$0 = -E dx + K_2 dy$$

$$0 = +D dx + K_3 d\zeta.$$

Aus diesen erhält man

$$21) \quad \frac{dG}{dx} = -\frac{K_1 K_2 K_3 + D D K_2 + E E K_3}{K_2 K_3} = \frac{CE}{K_2} \cdot \left(\frac{dH}{dx}\right)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{E}{K_2} \quad \frac{d\zeta}{dx} = -\frac{D}{K_3} \quad \frac{dG}{dH} = +\frac{CE}{K_2}$$

In diesen Formeln ist nach 19

$$\frac{dH}{dx} = -6.567 \text{ cm} \quad \frac{dx}{dH} = -0.00395.$$

Man erhält weiter

$$CE = \frac{38 \times 316.5}{312.2} = 38.5 \quad \frac{dG}{dx} = -253 \text{ gr} \quad \frac{dG}{dH} = +38.5 \text{ gr}$$

$$\frac{dx}{dG} = -0.00395 \text{ cm} \quad \frac{dH}{dG} = +0.026 \text{ cm}$$

$$\frac{dy}{dx} = +1.01 \quad \frac{d\zeta}{dx} = -0.23.$$

Setzt man diese Zahlenwerte in die Gleichungen 17 ein, so erhält man

$$19) \quad d\zeta = -0.230 dx + 0.333 db + \left(0.0056 - 0.333 \frac{S}{T}\right) dt$$

$$dy = +0.215 dx - 0.122 db - \left(0.00024 - 0.122 \frac{S}{T}\right) dt$$

$$dh = +6.567 dx + 1.000 db - \left(0.00857 - \frac{S}{T}\right) dt$$

$$dH = -6.567 dx + \left(0.0222 + \frac{S}{T}\right) dt.$$

Man muß also den Trog um 253 gr entlasten, um ihn 1 cm zu heben, oder 38.5 gr auflegen, um das durch $dH = 1$ cm bedingte Sinken des Troges bei $dH = 0$ zu bewirken.

$\Delta x = 0.0$	+1.5	-1.5	0.0	+1.5	-1.5	Grenzen
$b = 75.0$	78.0	72.0	72.0	72.0	72.0	
$\Delta G = 0$	0	0	-380	-380	-380	
$\zeta = 82.0$	82.7	81.3	80.9	80.5	81.3	$94 > \zeta > 77$
$\eta = 7.0$	4.6	9.4	9.0	8.6	9.4	$10 > \eta > 0$
$\tau = 12.0$	11.3	12.7	13.1	13.5	12.7	$17 > \tau > 0$
$\rho = 5.0$	5.7	4.3	3.9	3.5	4.3	$17 > \rho > 0$
$v = 3.0$	3.1	2.9	3.3	3.0	3.6	$10 > v > 0$
$w = 5.0$	1.1	8.9	7.5	5.6	9.4	$10 > w > 0$
$y = 40.0$	39.9	40.1	41.5	41.8	41.2	
$z = 40.0$	52.8	27.2	28.7	38.9	18.5	$59 > z > 14$
$h = 0.0$	+12.9	-12.9	-12.9	-3.0	-22.8	
$u = 2.5$	0.9	4.1	4.1	2.9	5.3	$5.5 > u > 0$
$v = 26.0$	25.9	26.1	27.6	27.9	27.3	
$\sigma = 19.0$	6.2	31.8	30.3	20.1	40.5	$45 > \sigma > 0$
$H = 75.0$	65.1	84.9	84.9	75.0	94.8	

In der vorstehenden Rechnung stehen zuerst die Anfangswerte der Längen für $\Delta x = 0$ und $b_0 = 75$ cm, dann folgen die Längen bei $\Delta x = +1.5$ cm, $\Delta b = +3$ cm, $\Delta G = 0$ und $\Delta x = -1.5$, $\Delta b = -3$ cm, $\Delta G = 0$. Bei $H = 84.9$ cm, $h = -12.9$ cm, $b = 72.0$ cm wird dann der Trog um $1.5 \times 253 = 380$ gr entlastet. Das bringt die in der 4. Reihe stehenden Längen hervor. Bleibt dann $b = 72$ cm, so steigt der Trog um 1.5 cm, wenn H auf 75.0 cm sinkt, er sinkt aber um $\Delta x = -1.5$ cm, wenn H auf 94.8 cm steigt.

In der 5. und 6. Spalte finden sich die dadurch in den Längen eintretenden Änderungen. Weiter sind die Grenzen angegeben, innerhalb deren sich die einzelnen Längen bewegen dürfen. Bedenklich ist nur die Quecksilberhöhe im Trog, der bei $H = 94.8$ cm fast voll geworden ist. Sonach wird man $H = 65$ cm und $H = 95$ cm als die Grenzen des meßbaren Druckes betrachten dürfen.

Die bewegende Kraft.

Um diese abzuleiten, hat man in den Gleichungen 20

$$db = ds = 0$$

beizubehalten, aber $dx = 0$ zu setzen. Es ist dann

$$22) \quad dH = -dh$$

$$\frac{dG}{dH} = \frac{CE}{K_2} \quad \frac{du}{dH} = +\frac{C}{K_2}$$

$$= 38.5 \text{ gr} \quad = +0.122 \text{ cm.}$$

Wird also der Wagebalken festgehalten und erhöht sich H um 1 cm, so entsteht eine Zugkraft von 38.5 gr und der Quecksilberspiegel steigt im Trog um 0.122 cm. Die Zunahme von H um 0.1 mm wird einen Widerstand von 0.385 gr überwinden können.

Das Wagemanometer als Luftthermometer.

V_0 soll ein geschlossenes unveränderliches Gefäß vorstellen. Die Temperatur der Luft in demselben soll $T = 273 + t$ und ihre Spannung H cm sein. Das Manometer habe die Temperatur $T_1 = 273 + t_1$. Die Rohrleitung wird an verschiedenen Stellen andere Temperaturen T_2, T_3 bis T_n haben können. Die Volumen dieser Teile sollen mit $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ und das gesamte Volumen mit V bezeichnet werden. Es ist dann

$$V = V_0 + V_1 + V_2 + \dots + V_n.$$

Für V_1 hat man noch

$$V_1 = q \sigma \quad dV_1 = q \cdot d\sigma + \sigma dq = q d\sigma.$$

Für das Gewicht von 1 cm Luft bei H cm Spannung und $T = 273 + t$ Temperatur hat man die Gleichung

$$\gamma = \frac{H}{R \cdot T} \text{ gr} \quad R = 215.3.$$

Sonach wird das Gewicht der Luft im Apparat

$$\Gamma = \frac{H}{R} \left[\frac{V_0}{T} + \frac{q \sigma}{T_1} + \frac{V_2}{T_2} + \dots + \frac{V_n}{T_n} \right]$$

$$23) \Gamma = \frac{H}{R} \cdot \frac{V_0}{T} \left[1 + \frac{T}{T_1} \cdot \frac{q \sigma}{V_0} + \frac{T}{T_2} \cdot \frac{V_2}{V_0} + \dots + \frac{T}{T_n} \cdot \frac{V_n}{V_0} \right]$$

$$= \frac{H}{R} \cdot \frac{V_0}{T} (1 + \varphi)$$

sein.

Hieraus erhält man

$$24) \theta = \frac{T}{1 + \varphi} = \frac{V_0}{R \Gamma} H = K \cdot H.$$

Für die Spannung H erhält man nach 18, da S sehr klein ist,

$$H = H_0 - 6.567 \Delta x + \left[\frac{S}{T_1} + 4.10^{-6} \Pi + 92.10^{-8} M_2 + 405.10^{-8} M_1 \right] t_1.$$

H_0 ist die Spannung bei $x = x_0$ und $t_1 = 0$. Nach 6 ist aber H die Spannung bei Δx und t_1 , gemessen durch die Höhe einer Quecksilbersäule von der Temperatur t_1 . Soll diese durch eine Säule von 0° ausgedrückt werden, so wird man statt H

$$H + z H t_1$$

schreiben müssen und erhält dann

$$25) \quad H = H_0 - 6.567 \Delta x + \left[\frac{S}{T_1} + 400.10^{-8} \Pi + 92.10^{-8} M_2 + 405.10^{-8} M_1 - 182.10^{-6} H \right] t_1.$$

Wenn man S bis auf 0.1 cm vermindert hat, wird bei Zimmertemperatur

$$S : T_1 = 0.1 : 290 = 1 : 2900 = 345.10^{-6}$$

sein.

$$M_1 = 2619 \text{ gr} \text{ ergibt } 405.10^{-8} M_1 = 10480.10^{-6}$$

$$M_2 = 1767 \text{ gr} \quad 92.10^{-8} M_2 = 1628.10^{-6}$$

Π und H sind Funktionen von Δx und es sind deshalb

$$\Pi = 2179 \text{ bis } 2711 \text{ gr.} \quad 400.10^{-8} \Pi = 8720.10^{-6} \text{ bis } 10840.10^{-6}$$

$$H = 65.1 \text{ bis } 84.9 \text{ cm.} \quad 182.10^{-6} H = 11830.10^{-6} \text{ bis } 15470.10^{-6}$$

Sollte die Spannung der Luft S aber immer noch 1 cm sein, so würde man für die Klammergröße in 25 folgende Grenzen erhalten:

$$(35 + 87 + 16 + 105 - 118) 10^{-4} = 125.10^{-4} = 0.0125$$

$$(35 + 108 + 16 + 105 - 155) 10^{-4} = 109.10^{-4} = 0.0109$$

Mittel 0.012.

Sonach wird man für die auf 0° reduzierte Spannung H erhalten

$$25 a) \quad H = H_0 - 6.567 \Delta x + 0.012 t_1.$$

Aus 24 folgt dann

$$\theta = K \cdot H_0 - 6.567 K \Delta x + 0.012 K t_1.$$

Für $\Delta x = 0$ und $t_1 = 0$ ist $\theta = \theta_0$ und $H_0 = b_0$, es wird also

$$26) \quad K = \frac{\theta_0}{b_0},$$

$$24 a) \quad \theta = \theta_0 - 6.567 \frac{\theta_0}{b_0} \Delta x + 0.012 \frac{\theta_0}{b_0} t_1 \quad T = (1 + \varphi) \theta$$

das Endergebnis sein. Nimmt man $\theta_0 = 273^\circ$ und $b_0 = 75$ cm an, so ist $\theta_0 : b_0 = 3.64$, also

$$24 b) \quad \theta = 273 - 23.9 \Delta x + 0.044 t_1.$$

Daraus ersieht man, daß 2.39° den Trog um 1 mm bewegen, 1° also um 0.42 mm. Eine Änderung der Temperatur des Instruments von $\pm 10^\circ$ bedingt Fehler in θ bis zu $\mp 0.44^\circ$. Gegen solche Temperaturschwankungen in kurzer Zeit kann man das Instrument aber schützen, langsame und gleichmäßige aber leicht in Rechnung ziehen.

Die Größe φ .

φ wird sehr verschiedene Werte annehmen können, deren Bestimmung nur im gegebenen Fall möglich ist. Um einen Überblick erhalten zu können, soll angenommen werden, daß der Apparat aus zwei Teilen mit den Temperaturen T und T_1 besteht. Es soll

$$V = V_0 + (q \sigma + V_2)$$

sein. Alsdann ist

$$\varphi = \frac{q \sigma + V_2}{V_0} \cdot \frac{T}{T_1}.$$

Nach den Rechnungen auf Seite 41 kann σ zirka 40 cm lang werden, q ist rund 3 qcm, man kann q σ also mit 100 ccm in Rechnung stellen. Das Zuleitungsrohr soll 50 m lang sein und 3 bis 4 mm lichte Weite haben, was $V_2 = 500$ ccm ergibt.

V_0 soll 10^4 ccm sein. Man erhält sonach

$$\varphi = \frac{T}{T_1} \frac{100 + 500}{10^4} = 6.10^{-2} \frac{T}{T_1}.$$

Nimmt man weiter $T = 240^\circ = (273 - 33^\circ \text{C})$, $T_1 = 273 + 27 = 300^\circ$, so ist $T : T_1 = 0.8$ und $\varphi = 48.10^{-3}$.

Wird $T > T_1$, so wird $T : T_1$ größer als 1, es geht dann φ über 60.10^{-2} hinaus, wird aber 70.10^{-2} kaum erreichen.

Man erhält aus 24 und 24 b

$$T = K (1 + \varphi) H = K (1 + \varphi) (H_0 - 6.567 \Delta x + 0.012 t_1).$$

Für $\Delta x = 0$, $t_1 = 0$ wird $T = T_0$ und $\varphi = \varphi_0$

$$K = \frac{T_0}{H_0 (1 + \varphi_0)},$$

sonach

$$T = T_0 - \frac{T_0 (1 + \varphi)}{H_0 (1 + \varphi_0)} \times 6.567 \Delta x + \frac{T_0 (1 + \varphi)}{H_0 (1 + \varphi_0)} \times 0.012 t_1$$

$$= T_0 - \frac{T_0}{H_0} (1 + (\varphi - \varphi_0)) \times 6.567 \Delta x + \frac{T_0}{H_0} \times 0.012 t_1$$

$$= \left[T_0 - \frac{T_0}{H_0} \times 6.567 \Delta x \right] + \left[\frac{T_0}{H_0} \times 6.567 (\varphi - \varphi_0) \Delta x + \frac{T_0}{H_0} \times 0.012 t_1 \right].$$

Die zwei Glieder der ersten Klammer ergeben einen Näherungswert für T, der um so richtiger sein wird, je kleiner der Wert ist, welchen die zweite Klammer liefert. Es soll

$$T_0 = 273^\circ \quad T_1 = 273^\circ \quad \Delta x = 0 \quad b = 72 \text{ cm} \quad \Delta b = -3 \text{ cm} \text{ sein.}$$

Dies gibt zunächst $H_0 = 75$ cm, also

$$T_0 : H_0 = 273 : 75 = 3.64 \quad \frac{T_0}{H_0} \times 6.567 = 23.9 \quad \frac{T_0}{H_0} \times 0.012 = 0.044$$

$$T = [273 - 23.9 \Delta x] + [23.9 (\varphi - \varphi_0) \Delta x + 0.044 t_1].$$

Für $\Delta x = +1.5$, $t_1 = +27^\circ$ ergibt dies

$$T = [273 - 35.9] + [35.9 (\varphi - \varphi_0) + 1.2].$$

Nach Seite 40 ist $\sigma = 19.0 - 6.8 \Delta x - 0.9 \Delta b$ und dies gibt für

$$\Delta x = 0 \quad \Delta b = -3 \quad \sigma = 19.7 \quad q \sigma = 60 \quad V_2 + q \sigma = 560$$

$$(V_2 + q \sigma) : V_0 = 560.10^{-4}$$

$$\Delta x = +1.5 \quad \Delta b = -3 \quad \sigma = 9.5 \quad q \sigma = 30 \quad V_2 + q \sigma = 530$$

$$(V_2 + q \sigma) : V_0 = 530.10^{-4}$$

$$\varphi_0 = \frac{273}{273} \cdot 560.10^{-4} = 560.10^{-4}$$

$$\varphi = \frac{237.1}{300} \cdot 530.10^{-4} = 0.8 \times 532.10^{-4} = 425.10^{-4}$$

$$\varphi - \varphi_0 = -135.10^{-4}.$$

Sonach ist

$$T = 237.1 + [35.9 \times -135.10^{-4} + 1.2]$$

$$= 237.1 + [-0.48 + 1.2] = 237.8^\circ.$$

Das werden wohl die denkbar größten Abweichungen sein.

Differenzen $T - T_1 = -63^\circ$ wird man leicht vermeiden können. Hält man den Apparat auf nahe gleicher Temperatur t_1 , so erhält man einen konstanten Fehler, der leicht in Rechnung gezogen werden kann.

Die Verwendung des Wagemanometers zur Messung von Wasserständen durch hydrostatische und aërostatistische Druckübertragung.

Allgemeines über die Instrumente.

Bei diesen Apparaten kann es sich um sehr verschiedene Aufgaben handeln. Zuerst kann der Wasserstand in irgend einem Speicher zu bestimmen sein. Dieser kann hoch oder tief, nahe oder fern von der Meßstelle liegen, er kann nur geringe oder starke Schwankungen in der Höhe des Wasserspiegels haben. Dann kommen Wasserstände in Brunnen, kleinen und großen Flußläufen, Talsperren, Seen und dem Meere in Frage. Auch hierbei spielt es eine große Rolle, wie stark die Wasserstände schwanken können und wo das Meßinstrument aufgestellt werden kann. Das muß alles erwogen werden, wenn es sich darum handelt, das passendste Instrument zu wählen. Die früher beschriebenen Druckfederdosen (siehe Seite 24) werden fast stets verwendbar sein. Aber es ist bei ihnen immer nötig, die Beziehung zwischen Wasserspiegelschwankung und Längenänderung der Dosen durch Versuche zu bestimmen. Verwendet man hierzu Wagemanometer, so läßt sich das Verhältnis der Wasserspiegelschwankung und der Bewegung des Instrumentes scharf berechnen. Ein solches Instrument hat eine unbegrenzte Lebensdauer, während die Dosen früher oder später ausgewechselt werden müssen.

In Fig. 24 habe ich zwei Instrumente entworfen, welche für Wasserstandschwankungen bis zu 10 Metern verwendbar sind.

Die Größenverhältnisse lassen sich aus dem in der Mitte eingezeichneten Maßstab erkennen. Das Instrument links ist für hydrostatische, das rechts für aërostatistische Druckübertragung bestimmt. Es können aber auch beide Arten der Druckübertragung bei jedem dieser Instrumente angewendet werden.

Die hydrostatische Druckübertragung wird dann anzuwenden sein, wenn der Wasserspiegel unter dem Instrument liegt, aber höchstens 8 Meter, und wenn es möglich ist, eine ein-

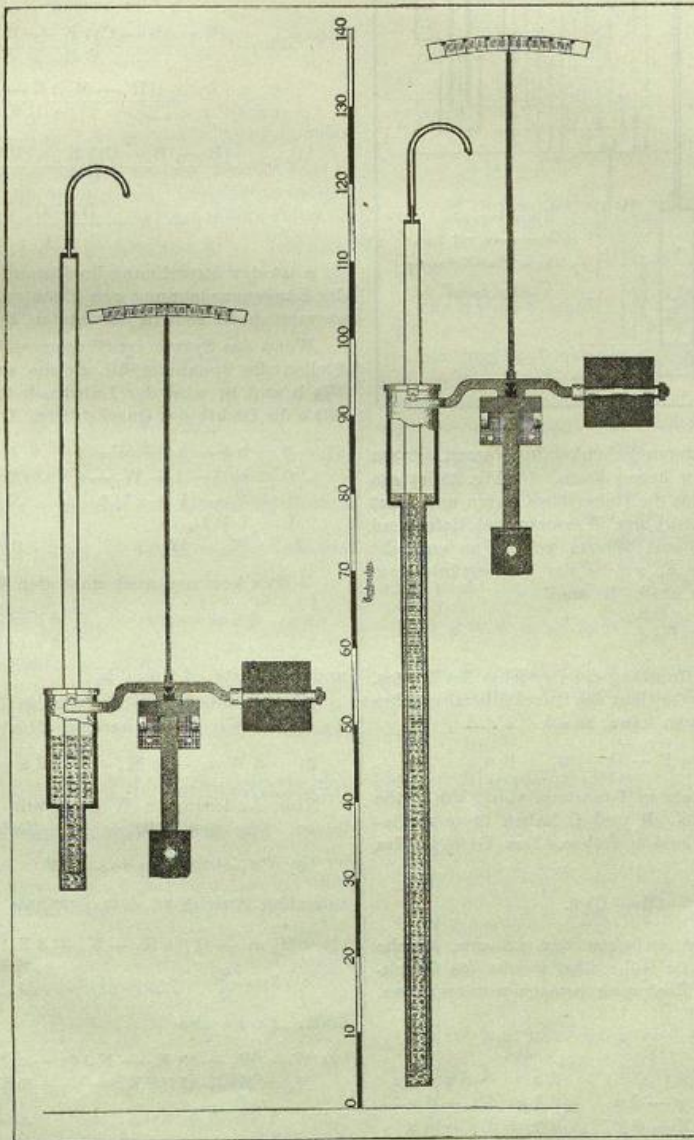


Fig. 24

fache Rohrleitung mit gleichmäßigem Gefälle und frostfrei nach dem Wasser zu verlegen. Aus der Zeichnung sieht man, daß ein feststehendes Stahlrohr in den am Wagebalken hängenden Trog hineinragt. Das Quecksilber steht anfangs in der Röhre und im Trog gleich hoch. Das oben angelötete Bleirohr führt nach dem Wasser, ich will einen Fluß annehmen. Dann saugt man mit einer Luftpumpe das Wasser an und füllt den ganzen Raum in der Rohrleitung über dem Quecksilber damit an. Es treten dann die in Fig. 25 links dargestellten Verhältnisse ein.

Bei den in der Zeichnung dargestellten Größenverhältnissen ist das Instrument, wie die nachstehenden Rechnungen ergeben, anwendbar, wenn der Wasserstand bis zu 8 Meter unter das Instrument sinken, aber auch bis zu 2 Meter über dasselbe steigen kann. Je höher bei demselben Höhenunterschied der tiefste Wasserstand liegt, um so kürzer kann der aus dem Trog herausragende Teil der Röhre gemacht werden, aber die Röhre muß dann nach unten verlängert werden, und das erfordert auch die entsprechende Verlängerung des Troges. Liegt der tiefste Wasserstand in der Höhe des Instrumentes, der höchste 10 Meter darüber, so treten die aus dem Instrument rechts in Fig. 24 ersichtlichen Größenverhältnisse ein.

Bei der aërostatistischen Druckübertragung ist es gleichgültig, wo das Instrument steht, sie erfordert aber, daß eine Taucherglocke von mindestens 40 cm Durchmesser unter dem tiefsten Wasserstand eingebaut werden kann. Von dieser Glocke nach dem Manometer muß eine möglichst enge Rohrleitung hergestellt werden. Das in Fig. 24 rechts dargestellte Instrument ist ebenfalls für Wasserpiegelschwankungen bis zu 10 Metern eingerichtet.

Die hydrostatische Druckübertragung.

1. Die Grund- und Bewegungsgleichungen.

Der aus Fig. 24 und 25 links ersichtliche, mit Quecksilber gefüllte Trog hängt an einem Wagebalken und übt den Zug P Gramm aus. Der Wagebalken ist so eingerichtet, daß

$$1) \quad P = P_0 - K(x - x_0)$$

ist, worin K eine Konstante und x die Trogstellung bedeuten. x_0 bezieht sich auf die wagerechte Stellung des Wagebalkens. Der in das Quecksilber

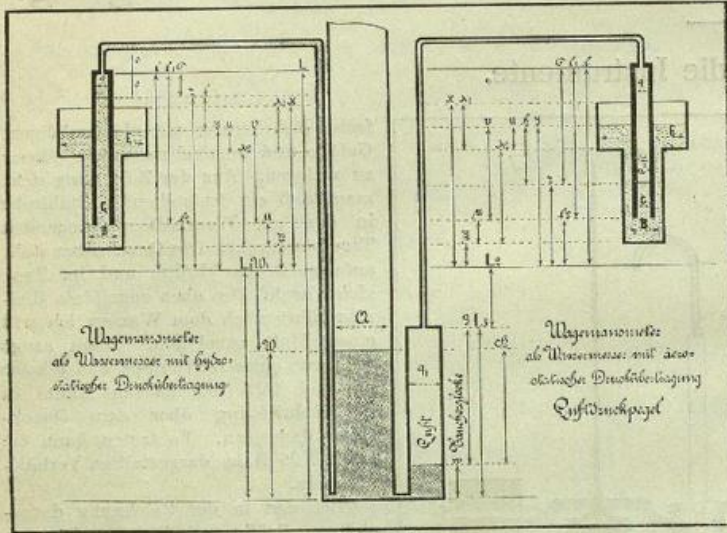


Fig. 25

eintauchende Heber steht mit seinem anderen Schenkel in Wasser, dessen Oberfläche über oder unter dem Niveau y liegen kann. In Fig. 25 ist ein Druckrohr eingezeichnet worden, an welches die Heberöhre unten angesetzt ist, was dieselbe Wirkung haben muß. Liegt der Wasserspiegel tiefer und wird der Heber mittels einer Luftpumpe mit Wasser gefüllt, so entsteht im Wagemanometer eine Quecksilbersäule h, welche der Wassersäule vom Niveau z bis W das Gleichgewicht halten muß. Es muß

$$2) \quad 13.6 h = z + W,$$

sein.

Die Messung von h geschieht durch Bestimmung des Gewichts des Troges. Ist G das Gewicht des leeren Troges, m_1 das Gewicht des Quecksilbers, welches sein unterer Teil auf die Länge λ_2 aufnehmen kann, so ist

$$3) \quad P = G + m_1 + E u \quad \Pi = P - G = m_1 + E u.$$

E ist das Gewicht einer Quecksilbersäule in Gramm von 1 cm Höhe und dem Querschnitt des oberen Trogteils. B und C haben dieselbe Bedeutung und beziehen sich auf die eingetauchte Röhre. Das Gewicht des Quecksilbers im Manometer ist

$$4) \quad M_1 = m_1 + E u + C h - (B - C) v.$$

Hierzu kommen noch die Beziehungen zwischen den Längen, welche von einem beliebigen tiefsten Punkt bis zu der Höhe, über welche das Quecksilber in der Röhre nicht steigen kann, in Rechnung gezogen werden sollen. Die Zeichnung ergibt

$$5) \quad \begin{aligned} l &= l_1 + l_2 & 0 &= d\sigma + dz & d\sigma &= -dz \\ l &= \sigma + z & 0 &= dh + dy - dz & dh &= dz - dy \\ z &= h + y & 0 &= du + d\xi - dy & du &= dy - dx \\ y &= u + \lambda_2 + \xi & 0 &= dv - dy & dv &= dy \\ y &= v + l_2 & 0 &= d\mu + d\xi & d\mu &= -dx \\ l_2 &= \mu + \xi & 0 &= d\xi - dx & d\xi &= +dx \\ x &= \lambda_1 + \lambda_2 + \xi \end{aligned}$$

Bei der Differentiation der Gleichungen 5 ist der Einfluß der Temperatur auf die Längen als verschwindend klein angenommen worden. Bei der Differentiation von 1, 3 und 4 finden dieselben Annahmen, wie auf Seite 35

ausführlich dargelegt worden ist, statt, es wird auch noch das Gewicht G als veränderlich durch Auflegen oder Wegnehmen von Zusatzgewichten angenommen. Man findet dann

$$6) \quad \begin{aligned} 0 &= K dx + dG + E du + \Pi' dt & \Pi' &= -\Pi(\alpha - 3\beta) \\ 0 &= E du + C dh - (B - C) dv + M_1' dt & M_1' &= -M_1(\alpha - 3\beta) \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich

$$7) \quad \begin{aligned} du &= -\frac{K}{E} dx - \frac{dG}{E} - \frac{\Pi'}{E} dt \\ dy &= \frac{E - K}{E} dx - \frac{dG}{E} - \frac{\Pi'}{E} dt \\ dz &= \frac{(E - B)K + BE}{CE} dx + \frac{E - B}{CE} dG + \frac{(E - B)\Pi' - EM_1'}{CE} dt \\ dh &= \frac{(E - (B - C))K + (B - C)E}{CE} dx + \frac{E - (B - C)}{CE} dG \\ &\quad + \frac{(\Pi' - M_1')E - (B - C)\Pi'}{CE} dt, \end{aligned}$$

oder

$$dh = \frac{(E - (B - C))K + (B - C)E}{CE} dx + \frac{E - (B - C)}{CE} dG + \left[h - \frac{B - C}{C} \frac{E(v - u) - m_1}{E} \right] (\alpha - 3\beta) dt.$$

α ist der Ausdehnungskoeffizient des Quecksilbers und β der Koeffizient der Längenausdehnung von Eisen und Glas. Ist $(B - C)$ sehr klein gegen C, so vereinfacht sich in der letzten Formel der Faktor für dt auf $+h\alpha$.

Wenn das System im Gleichgewicht ist, so muß in einem Niveau an allen Stellen die Spannung die gleiche sein. Die Spannung im Niveau L sei s. Mit b und b_1 wird der Luftdruck in den Höhen y und W bezeichnet und mit ϑ die Dichte des Quecksilbers. Die Dichte des Wassers ist = 1. Dann ist

$$8) \quad \begin{aligned} 0 &= b\vartheta - h\vartheta - \sigma - s & 0 &= \vartheta db - \vartheta dh - h d\vartheta - d\sigma - ds \\ 0 &= b_1\vartheta - l - W_1 - s & 0 &= \vartheta db_1 - dW_1 - ds \\ 0 &= \vartheta_0 - (1 + \alpha t)\vartheta & 0 &= d\vartheta + \alpha\vartheta dt \\ L &= l + L_1 & 0 &= dW_1 + dW \end{aligned}$$

Hierzu kommen noch nach den Gleichungen 5 und 7

$$8a) \quad d\sigma = -dz \quad dh = K_1 dx + K_2 dG + \alpha h dt \\ dz = K_3 dx + K_4 dG$$

und fast stets $db = db_1$.

Die Bedeutung der Konstanten K folgt aus 7, das Temperaturglied für dz kann weggelassen werden. Hieraus folgt

$$9) \quad dW = -(\vartheta K_1 - K_3) dx - (\vartheta K_2 - K_4) dG.$$

Eine Änderung in W kann nur durch Änderung der Wassermenge erfolgen. Für diese läßt sich die Gleichung

$$10) \quad M_2 = m_2 + q\sigma + QW \quad dM_2 = -q dz + Q dW$$

aufstellen, welche zu dem Ergebnis

$$11) \quad dM_2 = -Q [(\vartheta K_1 - K_3 + \delta K_2) dx + (\vartheta K_2 - K_4 + \delta K_4) dG] \\ \delta = \frac{q}{Q}$$

führt. Es ist also

$$12) \quad W = W_0 - (\vartheta K_1 - K_3)(x - x_0) - (\vartheta K_2 - K_4) \Delta G \\ M_2 = M_0 - Q [(\vartheta K_1 - K_3 + \delta K_2)(x - x_0) + (\vartheta K_2 - K_4 + \delta K_4) \Delta G]$$

2. Berechnung eines hydrostatischen Pegels für Wasserstandsänderungen bis zu 10 Metern.

Annahmen

$$B = 44 \text{ gr} \quad C = 40 \text{ gr} \quad E = 300 \text{ gr} \quad K = 200 \text{ gr} \quad q = 3 \text{ qcm} \\ Q = 30 \text{ qcm}.$$

Mit diesen Werten erhält man

$$\begin{aligned} h &= 5.03 \Delta x + 0.024 \Delta G + 182.10 - 6ht \\ z &= 5.36 \Delta x + 0.021 \Delta G & + z_0 \\ y &= 0.33 \Delta x - 0.0033 \Delta G & + y_0 \\ u &= -0.67 \Delta x - 0.0033 \Delta G & + u_0 \\ v &= 0.33 \Delta x - 0.0033 \Delta G & + v_0 \\ \sigma &= -5.36 \Delta x - 0.021 \Delta G & + \sigma_0 \\ W &= -63.0 \Delta x - 0.320 \Delta G & + W_0 \\ M_2 &= -1875 \Delta x - 9.54 \Delta G & + M_{2,0} \end{aligned}$$

Es soll bei $h = 0$ $y_0 = z_0 = 100$ cm sein, der tiefste Stand des Wasserspiegels soll 800 cm darunter, der höchste 200 cm darüber liegen. Dies gibt $W_0 = 800$ cm

$$\begin{aligned} W &= 800 - 63.0 \Delta x - 0.320 \Delta G \\ z &= 100 + 5.36 \Delta x + 0.021 \Delta G \\ y &= 100 + 0.33 \Delta x - 0.0033 \Delta G \\ h &= +5.03 \Delta x + 0.024 \Delta G \end{aligned}$$

Bei dem tiefsten Wasserstand $W = 0$ soll $\Delta x = +1.5$ cm, bei dem höchsten $W = 1000$ cm $\Delta x = -1.5$ cm sein.

Das gibt

$$\begin{aligned} 0 &= 800 - 63 \times +1.5 - 0.32 \Delta G & \Delta G &= +2205 \text{ gr} \\ 1000 &= 800 - 63 \times -1.5 - 0.32 \Delta G & \Delta G &= -330 \text{ gr} \end{aligned}$$

Je mehr also der Wasserstand sinkt, um so mehr müssen Gewichte bis zu 2205 gr aufgelegt werden, wenn die Wage spielen soll. Umgekehrt müssen bei steigendem Spiegel Gewichte weggenommen werden. Man erhält weiter für

$$\begin{aligned} \Delta x = +1.5 \text{ cm} & \Delta G = +2205 \text{ em} & y' &= 93.0 & z' &= 155.5 & h' &= +62.5 \text{ cm} \\ \Delta x = -1.5 & \Delta G = -330 & y'' &= 100.6 & z'' &= 85.0 & h'' &= -15.6 \text{ cm} \end{aligned}$$

Sonach muß l mindestens 135.5 cm und l_1 mindestens 70.5 cm lang sein. Es wird gewählt

$$l = 160 \text{ cm} \quad l_1 = 80 \text{ cm} \quad l_2 = l - l_1 = 80 \text{ cm}.$$

Man erhält weiter für

$$\begin{aligned} \Delta x = +1.5 \text{ cm} & \Delta G = +2205 \text{ em} & u' &= u_0 - 8.5 \text{ cm} \\ -1.5 & -330 & u'' &= u_0 + 2.1 \\ & & u' - u'' &= 16.6 \text{ cm} \end{aligned}$$

Sonach wird man $u_0 = 9.0$ cm annehmen können und λ_1 wird mindestens 11 cm sein müssen.

μ_0 wird 2 cm angenommen, was $\xi_0 = l_2 - \mu_0 = 78$ cm ergibt. Dann ist

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= y_0 - u_0 - \xi_0 = 100 - 11 - 78 = 11 \text{ cm} \\ v_0 &= y_0 - l_2 - 100 - 80 = 20 \text{ cm} \\ \sigma_0 &= l - y_0 = 160 - 100 = 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

Wird nun noch $\lambda_1 = 15$ cm angenommen, so wird

$$x_0 = \lambda_1 + \lambda_2 + \xi_0 = 15 + 11 + 78 = 104 \text{ cm}.$$

Man hat also

$$\begin{aligned} l &= 160 & l_1 &= 80 & l_2 &= 80 & \lambda_1 &= 15 & \lambda_2 &= 11 & x_0 &= 104 \text{ cm} \\ y_0 &= z_0 &= 100 & \sigma_0 &= 60 & u_0 &= 9 & v_0 &= 20 & \mu_0 &= 2 & \xi_0 &= 78 \text{ cm} \\ & & & & & & & & & & & & W_0 &= 800 \text{ gr} \end{aligned}$$

Nimmt man noch $m_1 = 1000$ gr an, so wird

$$\begin{aligned} \Pi &= P - (G + 330) = m_1 + E u = 1000 + 300 u \text{ gr} \\ M_1 &= m_1 + E u + C h - (B - C) v = m_1 + E u_0 - (B - C) v_0 = 3620 \text{ gr} \end{aligned}$$

Da bei hohem Wasserstand bis zu 330 gr weggenommen werden sollen, müssen diese vorher in einer bequem wegnehmbaren Form aufgelegt worden sein. Für P_0 erhält man

$$P_0 = G + 330 + m_1 + E u_0 = G + 330 + 3700 = G + 4030 \text{ gr}.$$

Nun können die Temperaturglieder in den Formeln 7 abgeleitet werden. Man erhält für

$$\begin{aligned} & \Delta x = 0 & \Delta G = 0 & \Delta x = +1.5 & \Delta G = 2205 \\ & -\Pi'/E & +0.00185 & & +0.00057 \\ (E-B) \Pi' - E M'_1 & & & & +0.01000 \\ & \frac{CE}{CE} & +0.0019 & & +0.01000 \\ (B-C) \frac{E(v-u) - m_1}{E} & +0.00012 & & +0.00014 \\ & h & 0 & & +62.5 \\ h(\alpha - 3\beta) & 0.00000 & & & +0.00938 \end{aligned}$$

Diese sind so klein, daß sie vernachlässigt werden können.

Aus der Gleichung für W folgt

$$dW = -63 dx - 0.32 dG.$$

$$\text{Für } dG = 0 \text{ ergibt sich } \frac{dW}{dx} = -63 \text{ cm}.$$

Der Trog kann sich nur 3 cm bewegen, sein Ansteigen um 3 cm wird durch das Sinken des Wasserspiegels um $63 \times 3 = 189$ cm bewirkt, so daß die Wage nur innerhalb dieser Grenzen spielt und dann sich auf der einen oder anderen Seite anlegt. Es muß dann der Trog ent- oder belastet werden.

Ist $dx = 0$, so ist $\frac{dG}{dW} = -3.13$ gr. In diesem Fall steigt oder fällt also der Wasserspiegel, die unveränderte Stellung des Troges wird durch Gewichte bewirkt. Es müssen für jeden Zentimeter Wasseranstieg 3.13 gr, für 1 m also 313 gr weggenommen werden.

Wird der Trog festgehalten und ändert sich der Wasserstand um dW , so entsteht die bewegende Kraft $+3.13 dW$ gr.

$$\text{Ist } dW = 0, \text{ so folgt } \frac{dG}{dx} = -197 \text{ gr}.$$

Das Auflegen oder Wegnehmen von 197 gr senkt oder hebt den Trog bei konstantem Wasserstand um 1 cm.

Die aërostatistische Druckübertragung.

1. Die Grund- und Bewegungsgleichungen.

Bei der aërostatistischen Druckübertragung mißt das Wagemanometer den Druck der Luft in einer Taucherglocke oder einem Windkessel, welcher durch das Wasser in einer Rohrleitung oder einem Brunnen, oder Fluß oder auch dem Meere hervorgebracht worden ist.

Hierbei wird fast stets nur Überdruck vorkommen, es soll deshalb h nach unten positiv gerechnet werden. Man erhält dann

$$\begin{aligned} 13) P &= P_0 - K(x - x_0) = G + m_1 + E u & \Pi &= P - G = m_1 + E u \\ M_1 &= m_1 + E u - C h - (B - C) v \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l &= l_1 + l_2 & 0 &= d\sigma + dz & d\sigma &= -dz \\ l &= h + z & 0 &= -dy + dh + dz & dh &= dy - dz \\ y &= u + \lambda_2 + \xi & 0 &= -dy + du + d\xi & du &= dy - dx \\ y &= v + l_2 & 0 &= -dy + dv & dv &= dy \\ l_2 &= \mu + \xi & 0 &= d\mu + d\xi & d\mu &= -dx \\ x &= \lambda_1 + \lambda_2 + \xi & 0 &= -dx + d\xi & d\xi &= +dx \end{aligned}$$

Wenn man in den Gleichungen 6 und 7 statt h und dh überall -h und -dh setzt, erhält man

$$\begin{aligned} du &= -\frac{K}{E} dx - \frac{1}{E} dG - \frac{\Pi'}{E} dt \\ dy &= \frac{E-K}{E} dx - \frac{1}{E} dG - \frac{\Pi'}{E} dt \\ dz &= \frac{(E-B)K + BE}{CE} dx + \frac{E-B}{CE} dG + \frac{(E-B)\Pi' - EM'_1}{CE} dt \\ dh &= -\frac{(E-(B-C))K + (B-C)E}{CE} dx - \frac{E-(B-C)}{CE} dG \\ & \quad + h(\alpha - 3\beta) dt. \end{aligned}$$

14) Zur Abkürzung wird gesetzt:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{(E-(B-C))K + (B-C)E}{CE} \\ &= \frac{E-(B-C)}{E} \cdot \frac{K}{C} + \frac{B-C}{C} = \frac{K}{C} \\ K_2 &= \frac{E-(B-C)}{C \cdot E} = \frac{1}{C} \\ K_3 &= \frac{(E-B)K + BE}{CE} = \frac{E-B}{E} \cdot \frac{K}{C} + \frac{B}{C} \\ K_4 &= \frac{E-B}{CE} = \frac{E-B}{E} \cdot \frac{1}{C}, \text{ was} \end{aligned}$$

$$15) \quad \begin{aligned} dz &= K_3 dx + K_4 dG \\ dh &= -K_1 dx - K_2 dG + \alpha h dt \end{aligned}$$

ergibt. Das Instrument ist ein Manometer, welches den Druck der Luft in der Taucherglocke mißt. Wird dieser mit S cm Wassersäule bezeichnet, mit b cm der Barometerstand oben und b_1 der untere und mit ϑ die Dichte des Quecksilbers, so ist

$$16) \quad S = \vartheta b + \vartheta h \quad \text{Zentimeter.}$$

Weiter ist

$$dS = \vartheta db + \vartheta dh + h d\vartheta = \vartheta db + \vartheta dh - \alpha h \vartheta dt,$$

also nach 15

$$17) \quad dS = \vartheta db - \vartheta K_1 dx - \vartheta K_2 dG.$$

Bis hierher kam nur das Wagemanometer in Frage. Für die Taucherglocke, den Wasserstand und das Luftvolumen kann man die weiteren Gleichungen aufstellen:

$$18) \quad \begin{aligned} V \cdot S &= RT & V dS + S dV &= R \cdot dT \\ V &= q_1 \rho + m + q \sigma & dV &= q_1 d\rho + d(m + q \sigma) = q_1 d\rho - q_1 dw \\ S &= \vartheta b + H & dS &= \vartheta db + dH \\ I_2 &= \rho + w & 0 &= d\rho + dw \\ W &= H + w & dW &= dH + dw. \end{aligned}$$

V ist hierin das gesamte Luftvolumen und m das Volumen der Rohrleitung. Da die Änderung von $m + q \sigma$ nur klein sein kann, darf sie vernachlässigt werden. Die Spannung S ist unten größer als oben, für sie und b muß ein Mittelwert eingesetzt werden. R ist eine Konstante. Man erhält weiter

$$19) \quad \begin{aligned} \rho_1 &= \frac{V}{q_1} = \rho + \frac{m + q \sigma}{q_1} \\ dw &= \frac{\rho_1}{S} dH + \frac{\rho_1}{S} \vartheta db - \frac{\rho_1}{T} dT \\ dW &= dH + dw = \left(1 + \frac{\rho_1}{S}\right) dH + \frac{\rho_1}{S} \vartheta db - \frac{\rho_1}{T} dT. \end{aligned}$$

Es sollen q_1 möglichst groß, L_2 möglichst klein gewählt werden.

Dann werden

$$20) \quad \frac{m + q \sigma}{q_1} \quad \frac{\rho_1}{S} \quad \text{und} \quad \frac{\rho_1}{T}$$

sehr klein sein und man wird mit großer Annäherung erhalten

$$21) \quad \begin{aligned} \rho &= \rho_1 \\ dw &= \frac{\rho}{S} dH = -\frac{\rho}{S} \vartheta K_1 dx - \frac{\rho}{S} \vartheta K_2 dG \\ dW &= \left(1 + \frac{\rho}{S}\right) dH = -\left(1 + \frac{\rho}{S}\right) \vartheta K_1 dx - \left(1 + \frac{\rho}{S}\right) \vartheta K_2 dG. \end{aligned}$$

Für die Wassermenge M_2 findet man endlich

$$22) \quad \begin{aligned} M_2 &= Q \cdot W + m_2 + q_1 w \\ dM_2 &= Q dW + q_1 dw. \end{aligned}$$

Kann man die Bedingungen 20 genügend erfüllen, so werden alle Änderungen im Luftdruck und der Temperatur jeden Einfluß verlieren, man wird also den Wasserstand aus x und ΔG genügend genau erhalten.

Die Leitung von der Taucherglocke zum Manometer soll $100 \text{ m} = 10^4 \text{ cm}$ lang sein und 4 mm lichte Weite haben. Dies gibt $m = 1200 \text{ ccm}$, und dieser Wert ist so groß, daß die Änderung von $q \sigma$, welches bis zu 200 ccm wachsen kann, nicht näher in Rechnung zu ziehen ist. Man kann rund

$$m + q \sigma = 1500 \text{ ccm}$$

als wahrscheinlich größten Wert annehmen. Ist weiter D der Durchmesser der Taucherglocke, so ergibt

$D =$	20	40	60	80	100 cm
$q_1 =$	314	1257	2827	5027	7854 qcm
$\frac{m + q \sigma}{q_1} =$	4.8	1.2	0.53	0.30	0.19 cm.

Sonach würde W bei Vernachlässigung dieses Volumens bei Glocken von 600 mm Durchmesser sich nur um 0.53 cm falsch ergeben, bei größerem aber noch weniger.

Die absolute Temperatur in den einzelnen Teilen des Instrumentes wird man zwischen 270 und 300° und die Temperaturschwankung $\Delta t = \pm 10^\circ$ einstellen können. Ist $\rho = 10 \text{ cm}$, so erhält man $f(t) = \frac{\rho}{T} \cdot \Delta t = 0.37$ bis 0.33 cm . Dies würde dann weiter ergeben bei

	$\rho =$	10	20	30	40	50 cm
$T = 270$	$f(t) =$	0.37	0.74	1.11	1.48	1.85 cm
$T = 300$	$f(t) =$	0.33	0.66	0.99	1.32	1.65 cm.

Wenn der Fehler in W einen Zentimeter nicht übersteigen soll, wird man ρ nicht größer als 30 cm nehmen dürfen, falls wirklich so bedeutende Temperaturschwankungen in der Glocke eintreten können.

Die Schwankung des Barometerstandes kann zu $\pm 3 \text{ cm}$ angenommen werden. S ist mindestens 10 m Wassersäule, sonach wird $f(b) = \frac{\rho}{S} \cdot \vartheta \cdot \Delta b = \pm 4.10^{-3} \rho$ anzunehmen sein. Dies würde bei $\rho = 30 \text{ cm}$ $f(b) \Delta b = \pm 0.12 \text{ cm}$ ergeben. Sonach kann der Einfluß der Barometerschwankungen leicht beseitigt werden. Anders liegt dies aber bei dem Glied

$$\frac{\rho}{S} dH,$$

welches bedeutendere Werte erreichen, aber in Rechnung gezogen werden kann.

2. Berechnung eines Luftdruckpegels für Wasserstandsänderungen bis zu 10 Metern

Zuerst ist nach 21 die Bewegungsgröße des Instrumentes

$$\frac{dW}{dx} = -\left(1 + \frac{\rho}{S}\right) \vartheta K_1 = -\vartheta \frac{K}{C}$$

festzustellen, wobei der sich aus 14 ergebende Näherungswert für K_1 verwendet werden kann. Es soll beibehalten werden

$$B = 44 \text{ gr} \quad C = 40 \text{ gr} \quad E = 300 \text{ gr}$$

und weiter, daß sich der Trog nur um $\Delta x = \pm 1.5 \text{ cm}$ bewegen kann. Die Bewegung von $\Delta x = +3 \text{ cm}$ soll durch $\Delta W = -500 \text{ cm}$ bewirkt werden. Dann ist

$$\frac{dW}{dx} = -\frac{500}{3} = -167 = -13.6 \frac{K}{40} \quad \text{also } K = 490 \text{ gr.}$$

Es soll rund $K = 500 \text{ gr}$ gemacht werden, so daß

$$23) \quad P = P_0 - 500(x - x_0) \quad \text{anzunehmen ist.}$$

Weiter erhält man nach 14, 17 und 21

$$24) \quad \begin{cases} du = -1.67 dx - 0.0033 dG \\ dy = dv = -0.67 dx - 0.0033 dG \\ dz = -d\sigma = +11.76 dx + 0.0213 dG \\ dh = dy - dz = -12.43 dx - 0.0246 dG \\ K_1 = +12.43 \quad K_2 = +246.10^{-4} \quad K_3 = 11.76 \quad K_4 = 213.10^{-4} \\ \vartheta K_1 = 169.0 \quad \vartheta K_2 = 0.335 \\ dS = 13.6 db - 169.0 dx - 0.335 dG \\ dw = -169.0 \varphi dx - 0.335 \varphi dG \\ dW = -169.0(1 + \varphi) dx - 0.335(1 + \varphi) dG \\ \varphi = \rho : S. \end{cases}$$

Bei der Integration dieser Differentialgleichungen soll angenommen werden, daß bei $W = 0$ und $w = 0$ auch $h = 0$ und $S_0 = 10^3 \text{ cm}$ ist. Weiter wird $L_2 = 20 \text{ cm}$ angenommen. Es ist dann

$$\varphi_0 = \frac{\rho_0}{S_0} = \frac{L_2}{S_0} = 2.10^{-2}.$$

Bei $W = 10 \text{ m}$ wird $S = 2.10^3 \text{ cm}$, $\rho = \frac{1}{2} L_2 = 10 \text{ cm}$, also

$$\varphi = 5.10^{-3}.$$

Als konstanten Mittelwert wird man sonach $\varphi = 10^{-2}$ annehmen können und erhält so

25)	$\Delta x = -1.5$
	$\Delta G = -2200$
$u = u_0 - 1.67 \Delta x - 0.0033 \Delta G$	$= u_0 + 9.77 \text{ cm}$
$y = y_0 - 0.67 \Delta x - 0.0033 \Delta G$	$= y_0 + 8.27 \text{ cm}$
$z = z_0 + 11.76 \Delta x + 0.0213 \Delta G$	$= z_0 - 64.50 \text{ cm}$
$h = -12.43 \Delta x - 0.0246 \Delta G$	$= +72.77 \text{ cm}$
$v = v_0 - 0.67 \Delta x - 0.0033 \Delta G$	$= v_0 + 8.27 \text{ cm}$
$\sigma = \sigma_0 - 11.76 \Delta x - 0.0213 \Delta G$	$= \sigma_0 + 64.50 \text{ cm}$
$s = S_0 + 13.6(b - b_0) - 169.0 \Delta x - 0.335 \Delta G$	$= S_0 + 13.6(b - b_0) + 990.5 \text{ cm}$
$w = -1.69 \Delta x - 0.00335 \Delta G$	$= +9.91 \text{ cm}$
$W = -170.7 \Delta x - 0.338 \Delta G$	$= +999.7 \text{ cm}$

Es soll bei

$$W = 10^3 \text{ cm} \quad \Delta x = -1.5 \text{ cm}$$

sein. Dann muß

$$10^3 = -170.7 \times -1.5 - 0.338 \Delta G, \text{ also } \Delta G = -2201 \text{ gr}$$

sein.

Sonach wird man die Einrichtung so treffen müssen, daß der Trog um 2200 gr entlastet werden kann.

Nach allen diesen Annahmen kann bei $\Delta G = 0$ Δx nicht positiv werden, alle Längen werden also ihre Grenzwerte bei

$$\Delta x = -1.5 \text{ cm} \quad \Delta G = -2200 \text{ gr}$$

erreichen.

Werden diese in die Gleichungen 25 eingesetzt, so erhält man die danebenstehenden Zahlenwerte. Es wird

$$y_0 = z_0 = 100 \text{ cm}$$

angenommen. Dann liegt

$$y \text{ zwischen } 100 \text{ und } 108.3 \text{ cm}$$

$$z \quad \quad \quad 100 \quad \quad \quad 35.5 \text{ cm.}$$

Sonach kann die Oberfläche im Rohr bis zum Niveau 35.5 cm sinken. Es wird deshalb

$$l_2 = 30 \text{ cm} \quad \text{und} \quad \mu_0 = 2 \text{ cm}$$

gewählt, woraus

$$\xi_0 = l_2 - \mu_0 = 30 - 2 = 28 \text{ cm}$$

folgt.

Wird $u_0 = 1 \text{ cm}$ angenommen, so kann $u = 10.77 \text{ cm}$ erreichen und deshalb soll

$$\lambda_1 = 15 \text{ cm}$$

gemacht werden, was

$$\lambda_2 = y_0 - u_0 - \xi_0 = 100 - 1 - 28 = 71 \text{ cm}$$

ergibt.

Hieraus folgt

$$x_0 = \lambda_1 + \lambda_2 + \xi_0 = 15 + 71 + 28 = 114 \text{ cm.}$$

Die Röhre soll dann über den Trogrand, um sie ordentlich befestigen zu können, noch 20 cm herausragen, was

$$l = x_0 + 20 = 114 + 20 = 134 \text{ cm}$$

$$l_1 = l - l_2 = 134 - 30 = 104 \text{ cm}$$

$$v_0 = y_0 - l_2 = 100 - 30 = 70 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = l - z_0 = 134 - 100 = 34 \text{ cm} \text{ ergibt.}$$

Es ist also

$l = 134 \text{ cm}$	$l_1 = 104 \text{ cm}$	$l_2 = 30 \text{ cm}$	$\lambda_1 = 15 \text{ cm}$	$\lambda_2 = 71 \text{ cm}$
$y_0 = 100 \text{ cm}$	$z_0 = 100 \text{ cm}$	$u_0 = 1 \text{ cm}$	$v_0 = 70 \text{ cm}$	$\sigma_0 = 34 \text{ cm}$
$x_0 = 114 \text{ cm}$	$\xi_0 = 28 \text{ cm}$	$\mu_0 = 2 \text{ cm.}$		

Der untere Teil des Troges wird einen Durchmesser von 26 bis 28 mm erhalten müssen, so daß er auf 1 cm Höhe rund 75 gr Quecksilber aufnehmen kann. Es ergibt dies

$$m_1 = 75 \times \lambda_2 = 75 \times 71 = 5300 \text{ gr}$$

$$\Pi_0 = P_0 - (G + 2200) = m_1 + E u_0 = 5300 + 300 \times 1 = 5600 \text{ gr}$$

$$P_0 = 7800 \text{ gr} + G.$$

Das Gewicht des leeren Troges wird 2 bis 3 kg anzunehmen sein, so daß $P_0 = 10\,000 \text{ gr}$ wird erreichen können, also

$$P = 10\,000 - 500(x - x_0)$$

ergibt.

Die Quecksilbermenge wird sein

$$M_1 = \Pi_0 - (B - C) v_0 = 5600 - 4 \times 70 = 5320 \text{ gr.}$$

Aus 25 folgt $dW = -171 dx - 0.338 dG$ und dies gibt

für $dG = 0$	$\frac{dW}{dx} = -171 \text{ cm}$	$\frac{dx}{dW} = -0.059 \text{ cm}$
$dx = 0$	$\frac{dW}{dG} = -0.338 \text{ cm}$	$\frac{dG}{dW} = -2.96 \text{ gr}$
$dW = 0$	$\frac{dG}{dx} = -506 \text{ gr}$	$\frac{dx}{dG} = -0.002 \text{ cm.}$

Ist $dG = 0$, so sinkt der Wasserspiegel um 171 cm, wenn der Trog 1 cm ansteigt. 1 cm Wasserstandsänderung bedingt 0.059 cm Trogbewegung.

Um die Trogstellung unverändert zu erhalten ($dx = 0$), muß man für jeden Zentimeter Wasseranstieg 2.96 gr wegnehmen. Hält man den Trog fest, so bedingt jeder Zentimeter Wasserstandsänderung eine bewegende Kraft von 2.96 gr.

Ist der Wasserstand unverändert, so steigt der Trog durch Wegnahme von 506 gr um 1 cm, die Wegnahme von 1 gr hebt den Trog um 0.002 cm.



Die Wagemanometer mit beweglicher Röhre zur Messung kleiner Druckunterschiede. Druckglockenmanometer.

Die Grund- und Bewegungsgleichungen für beliebige Gestaltung der Glocke.

Unter Druckglockenmanometer soll ein Instrument zur Messung sehr kleiner Druckdifferenzen nach dem Prinzip des Wagemanometers verstanden werden. Bei diesem wird es sich empfehlen, die Glocke beweglich zu machen, da der Trog sehr schwer wird und einen so großen Durchmesser erhält, daß die Aufhängung an einem Wagebalken sich schwierig gestalten würde. Bei rasch wechselndem Druck ist es auch nötig, den beweglichen Teilen eine möglichst geringe Masse zu geben. Die Einzelheiten der Einrichtung hängen von dem Zweck ab, dem das Instrument dienen soll. Bei den nachstehenden Rechnungen wurde zuerst angenommen, daß es sich um die Messung der Windgeschwindigkeit handelt. In diesem Fall tritt die Forderung auf, daß sich eine in Wasser oder Quecksilber schwimmende Glocke der Quadratwurzel aus der Druckdifferenz proportional bewegt. Dann wurde der Fall behandelt, in dem die Bewegung der Glocke zwar dem Druck proportional, aber bei kleinen Druckdifferenzen größer als bei großen ist.

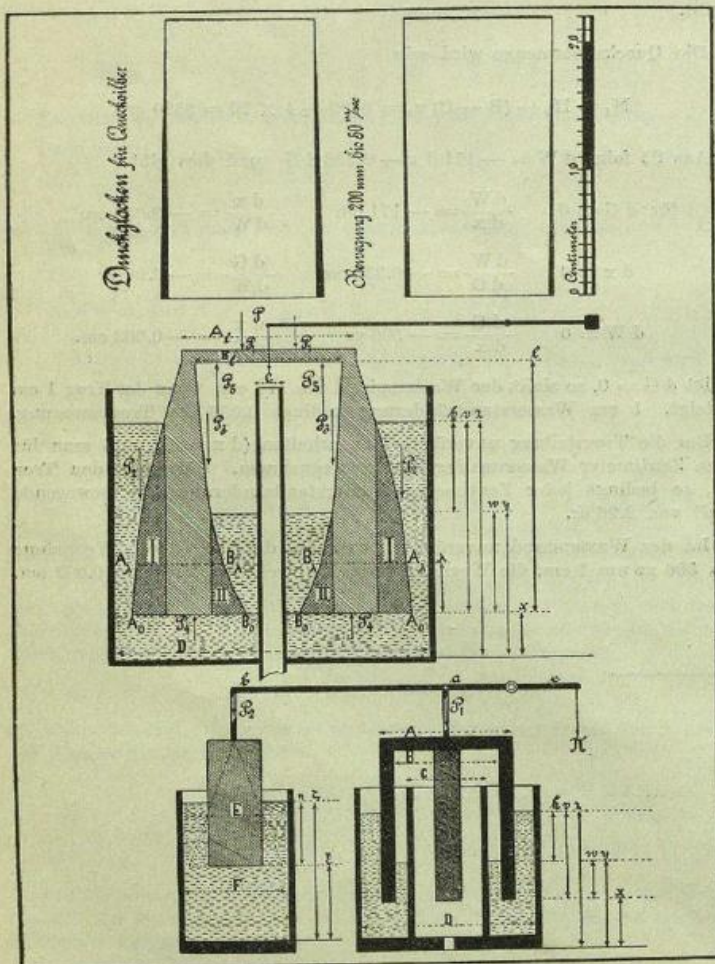


Bild 22

Als Gewichtswagemanometer habe ich dann zwei Einrichtungen behandelt, bei denen kleine Druckdifferenzen durch Auflegen von Gewichten bis zum Einspielen des Wagebalkens ermittelt werden, also geradezu eine Wägung wie bei jeder anderen Wage stattfindet.

In der mittleren Figur des Bildes 22 ist angenommen worden, daß die Glocke an einem Hebel mit konstantem Gegengewicht hängt. Das System wird also im Gleichgewicht sein, wenn die Glocke denselben konstanten Zug P an ihrem Aufhängepunkt ausübt, wobei sie aber sehr verschiedene Höhenlagen haben kann. Zuerst handelt es sich darum, die Größe von P zu bestimmen. Die nach unten wirkenden Kräfte sollen positiv gerechnet werden. Als positive Drücke ergibt die Zeichnung P_1 auf die obere ebene Fläche der Glocke, den Druck P_2 auf die äußere und P_3 auf die innere Mantelfläche. Negativ sind die Drücke P_4 und P_5 .

Der Druck P_1 . Auf der oberen Fläche A_1 in Quadratcentimetern der Glocke lastet der Luftdruck. b soll den Barometerstand bedeuten, und zwar ausgedrückt durch die Höhe einer Flüssigkeit in Zentimetern, von der 1 cem γ Gramm wiegt. Es ist dann $P_1 = A_1 \cdot b \cdot \gamma$ Gramm. Es empfiehlt sich, als Sperrflüssigkeit zunächst Wasser anzunehmen, wodurch $\gamma = 1$ wird. Dann ist also

$$1) \quad P_1 = A_1 b.$$

Der Druck P_2 . Ich denke mir die Glocke als einen massiven Körper, bezeichne die Größe eines horizontalen Querschnittes mit A und nehme an, daß A von unten nach oben abnimmt. Über der Oberfläche der Flüssigkeit (Wasser) lastet nur der Luftdruck auf dem Mantel der Glocke, die Zunahme dieses Druckes nach oben von v bis $v + dv$ ist $b \cdot (-dA) = -b \cdot dA$.

An der Stelle λ kommt zu b noch der Druck der Wassersäule, deren Höhe durch $(v - \lambda)$ bestimmt ist, es ist also die Druckzunahme von λ bis $\lambda + d\lambda$ gleich $(b + v - \lambda) \cdot (-dA) = -(b + v - \lambda) dA$. Die Größe des Druckes P_2 ist sonach

$$2) \quad P_2 = -\int_{A_1}^{A_0} (b + v - \lambda) dA - \int_{A_1}^{A_0} b dA \\ = (A_0 - A_1) b + (A_0 - A_1) v - \int_{A_1}^{A_0} \lambda \cdot (-dA).$$

Das in diesem Ausdruck noch vorkommende Integral gibt die Größe des mit I bezeichneten Raumes an. Es ist aber auch

$$\text{Raum I} = \int_0^v (A_\lambda - A_v) d\lambda = \int_0^v A_\lambda d\lambda - A_v v.$$

Ich setze

$$I. \quad J_1 = \int_0^v A_\lambda d\lambda$$

und erhalte

$$2) \quad P_2 = (A_0 - A_1) b + A_0 v - J_1.$$

Der Druck P_3 . Bei dem durch den inneren Mantel der Glocke begrenzten Hohlraum nehmen die Querschnitte B von unten nach oben zu. Die Spannung der in der Glocke über dem Wasser befindlichen Luft ist $(b + h)$, also die Druckzunahme von w bis $w + dw$ gleich $(b + h) dB$. An der Stelle λ ist die Spannung $(b + h) + (w - \lambda)$, die Druckzunahme von λ bis $\lambda + d\lambda$ ist $(b + h + w - \lambda) dB$. Sonach wird

$$3) P_3 = \int_{B_0}^{B_w} (b + h + w - \lambda) d B + \int_{B_0}^{B_1} (b + h) d B$$

$$= (B_1 - B_0) (b + h) + (B_w - B_0) w - \int_{B_0}^{B_w} \lambda d B.$$

Hier ist

$$\text{Raum II} = \int_{B_0}^{B_w} \lambda d B = \int_0^w (B_w - B_\lambda) d \lambda = B_w w - \int_0^w B_\lambda d \lambda.$$

Ich setze

$$\text{II. } J_2 = \int_0^w B_\lambda d \lambda$$

und erhalte

$$3) P_3 = (B_1 - B_0) (b + h) - B_0 w + J_2.$$

Die Drücke P_4 und P_5 . Für diese findet man

$$4) P_4 = -(\Delta_0 - B_0) (b + v)$$

$$5) P_5 = -B_1 (b + h).$$

Wird nun noch das Gewicht der Glocke mit G bezeichnet, so ist

$$\text{III. } P = G + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = G - J_1 + J_2 \text{ Wasser.}$$

Für jede andere Sperrflüssigkeit wird

$$\text{IIIa. } P = G - \gamma J_1 + \gamma J_2.$$

Für das Volumen M der Sperrflüssigkeit erhält man

$$\text{IV. } M = (D v - J_1) + (J_2 - C w) + (D - C) x - (D - C) x + D v - C w - J_1 + J_2.$$

Hierzu kommen noch die aus der Figur ersichtlichen Beziehungen zwischen den Längen. Dadurch erhält man die Grundgleichungen

$$\text{V. } P = G - \gamma J_1 + \gamma J_2$$

$$M = (D - C) x + D v - C w - J_1 + J_2$$

$$z = v + x = h + w + x = h + y$$

$$y = w + x$$

und die Differentialgleichungen

$$\text{VI. } 0 = -A_v d v + B_w d w$$

$$0 = (D - C) d x + D d v - C d w$$

$$d z = d v + d x = d h + d w + d x = d h + d y$$

$$d y = d w + d x.$$

Das Druckglockenmanometer als Windgeschwindigkeitsmesser. Die Bewegung ist proportional der Windgeschwindigkeit.

Die erlangten Formeln können zur Ableitung der Formen der Druckglocken für diejenigen Instrumente, deren Bewegung proportional der Windgeschwindigkeit ist, verwendet werden. Es sei die Windgeschwindigkeit u Meter/Sekunde und $x - x_0 = c u$, während für den Überdruck $h = b u^2$ anzunehmen ist. Dies gibt

$$\text{IX. } w = 1 - c u - b u^2 \quad \frac{A_v}{B_w} = \frac{c + 2 b u}{c}$$

I. Das Innere der Glocke ist ein Zylinder. $B = 100$ gem.

Diese Annahme führt zu den Gleichungen

$$7) A_v = \frac{c + 2 b u}{c} B \quad u = \frac{1 - v}{c},$$

woraus

$$A_v = \left(1 + \frac{2 b 1}{c^2}\right) B - \frac{2 b B}{c^2} v$$

folgt

Das Instrument soll so eingerichtet werden, daß die Glocke sich von $u = 0$ bis $u = 50$ m/sec um 20 cm hebt. Dies gibt

$$(x - x_0) = 0.4 u \quad c = 4.10^{-1}.$$

Weiter erhält man

$$0 = (D - C) d x + D d h + (D - C) d w$$

$$0 = (D - C) d x + C d h + (D - C) d v.$$

Es wird gesetzt

$$6) \rho = \frac{D}{D - C} \quad \sigma = \frac{C}{D - C}$$

und erhalten

$$\text{VII. } d w = -d x - \rho d h \quad \frac{A_v}{B_w} = \frac{d w}{d v} = \frac{d x + \rho d h}{d x + \sigma d h}.$$

$$d v = -d x - \sigma d h$$

Kennt man die Form der einen Mantelfläche und kann man x als Funktion von h oder umgekehrt ausdrücken, so wird man nach Formeln VII die Form der anderen Mantelfläche und alle Bewegungsvorgänge bestimmen können. In den meisten Fällen kann man das Luftzuführungsrohr so eng machen, daß C dem großen Wert von D gegenüber vernachlässigt werden kann. Dies gibt

$$6 a) \quad \rho = 1 \quad \sigma = 0.$$

$$\text{VII a. } d w = -d x - d h \quad \frac{A_v}{B_w} = \frac{d x + d h}{d x} = 1 + \frac{d h}{d x} = \frac{d w}{d v}$$

$$d v = -d x$$

Durch Integration erhält man endlich

$$\text{VIII. } w = -x - h + \text{Konstante} \quad \frac{A_v}{B_w} = 1 + \frac{d h}{d x} = \frac{d w}{d v}$$

$$v = -x + \text{Konstante}$$

Es soll nun die Einrichtung so getroffen werden, daß bei

$$x = x_0 \quad h = 0$$

die innen und außen gleichhoch stehende Flüssigkeit in der Höhe der Mündung des Luftzuführungsrohres steht und die Glocke auf dieser aufruft. Dann ist

$$w_0 = v_0 = 1,$$

h kann nur wachsen, bis im Innern der Flüssigkeitsspiegel bis zur Mündung der Druckglocke gesunken ist, also

$$w = 0 \quad v = h$$

sind.

Unter diesen Bedingungen erhält man

$$\text{Konstante} = 1 + x_0.$$

$$\text{VIII a. } w = 1 - (x - x_0) - h \quad \frac{A_v}{B_w} = 1 + \frac{d h}{d x} = \frac{d w}{d v}$$

$$v = 1 - (x - x_0)$$

Von besonderem Einfluß ist die Natur der Sperrflüssigkeit, von der der Faktor b abhängt. Man kann als Höchstwerte

$$\text{bei Quecksilber } b = 74.10^{-5}$$

$$\text{„ Wasser } b = 1.10^{-2}$$

annehmen.

I a. Die Absperrflüssigkeit ist Quecksilber. Es ist

$$w = 1 - 0.4 u - 74.10^{-5} u^2$$

$$v = 1 - 0.4 u$$

$$1 = 0.4 \times 50 + 74.10^{-5} \cdot (50)^2 = 21.9 \text{ cm}$$

$$\frac{2 b}{c} = \frac{2 \cdot 74.10^{-5}}{4.10^{-1}} = 37.10^{-5} \quad 100 \frac{2 b}{c} = 0.37$$

$$\frac{2 b}{c^2} = \frac{37.10^{-4}}{4.10^{-1}} = 925.10^{-5} \quad 100 \frac{2 b}{c^2} = 0.925$$

$$\frac{2 b}{c^2} 1 = 925.10^{-5} \times 21.9 = 0.203 \quad 100 \frac{2 b}{c^2} 1 = 20.3.$$

Sonach ergeben sich bei Druckglocken aus Eisen, welche durch Quecksilber abgesperrt werden,

$$7 a) \quad w = 21.9 - 0.4 u - 74.10^{-5} u^2$$

$$v = 21.9 - 0.4 u$$

$$A_v = 100 + 0.37 u = 120.3 - 0.925 v.$$

u m/sec.	v cm		w cm		A _v in qcm		B _w in qcm		R _v in mm		R _w in mm	
	Hg	Wasser	Hg'	Wasser	Hg	Wasser	Hg	Wasser	Hg	Wasser	Hg	Wasser
0	21.9	45.0	21.9	45.0	100.0	100.0	100.0	100.00	56.5	56.5	56.5	56.5
10	17.9	41.0	17.8	40.0	103.7	150.0	96.8	66.67	57.5	69.0	55.5	46.0
20	13.9	37.0	13.6	33.0	107.4	200.0	92.9	50.00	58.5	80.0	54.5	40.0
30	9.9	33.0	9.2	24.0	111.1	250.0	89.4	40.00	59.5	89.0	53.5	35.7
40	5.9	29.0	4.8	13.0	114.8	300.0	87.5	33.33	60.5	98.0	52.5	32.6
50	1.9	25.0	0.0	0.0	118.5	350.0	84.3	28.57	61.5	106.0	52.0	30.2
—	0.0	0.0			120.3	662.5			62.0	145.0		

I b. Wenn die Sperrflüssigkeit Wasser ist, so folgen in derselben Weise

7 b) $w = 45 - 0.4 u - 10^{-2} u^2$
 $v = 45 - 0.4 u$
 $A_v = 100 + 5 u = 662.5 - 12.5 v.$

II. Die Glocke stellt außen einen Zylinder dar. A = 100 qcm.

Nach IX erhält man

$$\frac{w}{v} = \frac{1 - c u - b u^2}{1 - c u} \quad B_w = \frac{c}{c + 2 b u} A.$$

Man sieht, daß die Darstellung von B_w als Funktion von w eine sehr komplizierte Formel ergeben würde. Da diese aber nicht unbedingt nötig ist, kann ihre Ableitung unterbleiben. Man erhält bei Quecksilber

7 c) $w = 21.9 - 0.4 u - 74.10^{-5} u^2$ $B_w = \frac{100}{1 + 37.10^{-4} u}$
 $v = 21.9 - 0.4 u$

und bei Wasser

7 d) $w = 45 - 0.4 u - 10^{-2} u^2$ $B_w = \frac{100}{1 + 5.10^{-2} u}$
 $v = 45 - 0.4 u$

Das einfachste Verfahren zur Berechnung der nicht zylindrischen Mantelformen der Druckglocken ist folgendes. Die Gleichungen 7 lassen mit beliebig angenommenen Werten von u die zusammengehörigen Koordinaten v und A_v beziehentlich w und B_w ermitteln. Dazu hat man also die Gleichungen

7 a) $v = 21.9 - 0.4 u$ $A_v = 100 + 0.37 u$ für Quecksilber
 7 b) $v = 45 - 0.4 u$ $A_v = 100 + 5 u$ „ Wasser
 7 c) $w = 21.9 - 0.4 u - 74.10^{-5} u^2$ $B_w = \frac{100}{1 + 37.10^{-4} u}$
 7 d) $w = 45 - 0.4 u - 10^{-2} u^2$ $B_w = \frac{100}{1 + 5.10^{-2} u}$

Da es sich um Rotationskörper handelt, die Querschnitte also Kreise sind, kann man aus den Flächen A_v und B_w die zugehörigen Halbmesser bestimmen.

Die vorstehende Tabelle enthält die ganze Rechnung. Nur für v = 0 wurden die Gleichungen 7 a und 7 b angewendet, welche A_v als Funktion von v darstellen.

In der oberen Figur des Bildes 22 und in Fig. 26 sind die Ergebnisse graphisch dargestellt worden. Hierzu ist nur noch zu bemerken, daß in

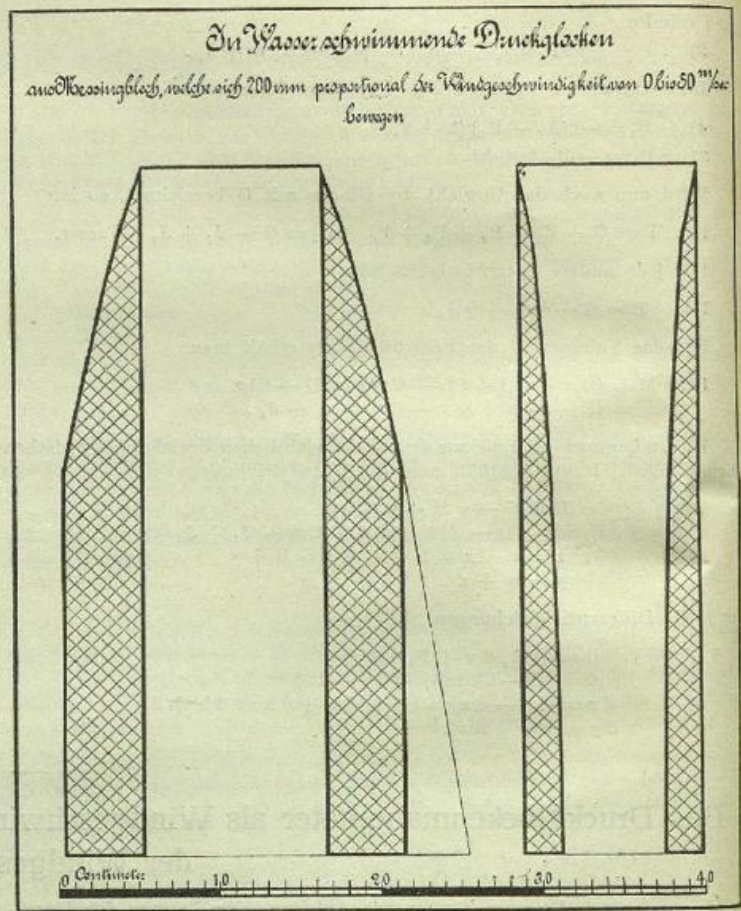


Fig. 26

Fig. 26, welche eine durch Wasser abgesperrte Druckglocke mit konstantem B darstellt, die Glockenform nur bis zu u = 50 m/sec, also v = 25 cm herzustellen ist, die darunterliegenden 25 cm der Glocke bleiben außen dauernd in Wasser und können deshalb als Zylinder ausgeführt werden.

Das Druckglockenmanometer als Winddruckmesser. Die Bewegung ist proportional dem Winddruck.

1. Das Gegengewicht ist konstant.

Von besonderem Interesse ist der Fall

$$A_v = A = \text{Konstante} \quad B_w = B = \text{Konstante.}$$

Bei derartigen Instrumenten wird die Bewegung proportional dem Druck h sein, er wird gemessen, man muß daraus dann die Windgeschwindigkeit erst berechnen.

Aus VI folgt

8) $0 = (D - C) dx + D dv - C dw$
 $0 = -A dv + B dw$
 $dz = dv + dx = dh + dw + dx = dh + dy$
 $dy = dw + dx.$

Setzt man

9) $\alpha = A : B \quad K = \frac{D - C}{D - \alpha C}$

so findet man

$$10) \quad \begin{aligned} dv &= -K dx & dz &= (1-K) dx & dh &= (\alpha-1) K dx \\ dw &= -\alpha K dx & dy &= (1-\alpha) K dx \end{aligned}$$

Meist werden α und K nur wenig von Eins verschieden sein. Ist C sehr klein gegen D , so wird $K = 1$ und es gehen dann die Formeln über in

$$10 a) \quad \begin{aligned} \frac{dv}{dx} &= -1 & \frac{dz}{dx} &= 0 & \frac{dh}{dx} &= + \frac{A-B}{B} \\ \frac{dw}{dx} &= -\frac{A}{B} & \frac{dy}{dx} &= -\frac{A-B}{B} \end{aligned}$$

Danach erhält sich die Sperrflüssigkeit außerhalb der Glocke in gleicher Höhe.

Es folgt weiter

$$h = \frac{A-B}{B} (x - x_0) \quad \text{oder} \quad (x - x_0) = \frac{B}{A-B} h.$$

Sonach wird der Anstieg der Glocke bei demselben Überdruck um so größer werden, je größer der Durchmesser der Glocke und je kleiner deren Wandstärke ist. Von der Dichte der Sperrflüssigkeit hängt diese Bewegung nicht ab.

2. Das Gegengewicht ist veränderlich.

Es soll hier nur die in der unteren Figur des Bildes 22 dargestellte Einrichtung ausführlich behandelt werden. Die Druckglocke hängt im Abstand a von der Drehaxe an einem geradlinigen Hebel. Im Abstand b greift an derselben Seite ein in Quecksilber schwimmender Zylinder an. Beiden entgegen wirkt auf der anderen Seite des Hebels das Gegengewicht H . Man kann die folgenden Grundgleichungen aufstellen:

$$\begin{aligned} X. \quad P_1 &= G - \gamma A v + \gamma B w & II e &= P_1 a + P_2 b \\ M_1 &= (D-C)x + (D-A)v + (B-C)w & P_2 &= F - \gamma E \eta \\ z - h + y &= v + x & M_2 &= F \zeta - E \eta \\ y &= w + x & \zeta &= \eta + \xi \\ & & a(\zeta - \xi_0) &= b(x - x_0). \end{aligned}$$

In das Moment $II e$ denke ich mir die Momente der Gewichte der beiden Hebelhälften eingerechnet. P_1 ist der Zug der Glocke, P_2 der des Schwimmers, beide positiv nach unten gerechnet. M_1 und M_2 sind die Quecksilbermassen und γ ist das Gewicht von 1 cem Quecksilber in Grammen ($\gamma = 13.6 \text{ gr.}$). G und F sind die Gewichte der Glocke und des Schwimmers in Grammen und A, B, C, D, E und F Querschnitte in Quadratcentimetern.

Differentialgleichungen:

$$\begin{aligned} XI. \quad 0 &= a \cdot dP_1 + b \cdot dP_2 & dP_2 &= -\gamma E d\eta \\ dP_1 &= -\gamma A dv + \gamma B dw & 0 &= F d\zeta - E d\eta \\ 0 &= (D-C)dx + (D-A)dv + (B-C)dw & d\zeta &= d\eta + d\xi \\ dz &= dh + dy = dv + dx & a d\xi &= b dx. \\ dy &= dw + dx \end{aligned}$$

Abkürzungen:

$$11) \quad k = \frac{b}{a} \quad \rho = \frac{F \cdot E}{F - E}$$

Ergebnisse:

$$12) \quad \begin{aligned} \frac{dv}{dx} &= \frac{(D-C)B - (B-C)k^2 \rho}{BD - AC} & \frac{d\zeta}{dx} &= -\frac{k}{F \rho} \\ \frac{dw}{dx} &= \frac{(D-C)A + (D-A)k^2 \rho}{BD - AC} & \frac{dP_2}{dx} &= +\gamma k \rho \\ \frac{dz}{dx} &= \frac{(A-B)C - (B-C)k^2 \rho}{BD - AC} \\ \frac{dy}{dx} &= \frac{(A-B)D + (D-A)k^2 \rho}{BD - AC} \\ \frac{dh}{dx} &= \frac{(A-B)(D-C) + [(D-C) - (A-B)]k^2 \rho}{BD - AC} \\ \frac{d\eta}{dx} &= -\frac{k}{E \rho} \end{aligned}$$

3. Die bewegende Kraft.

Hindert man die Glocke irgendwie an der Bewegung, so entsteht an deren Aufhängepunkt eine nach unten oder oben gerichtete Kraft, welche das Bestreben hat, die hindernde Ursache zu überwinden. Als solche Ursachen kann man sich Reibungswiderstände denken, zu denen bei Registrierapparaten die Reibung der Schreibfeder an dem Papier gehören wird. Zur Bestimmung von dP hat man in den Gleichungen XI $dx = 0$ zu setzen und erhält dann $d\zeta = d\eta = dP_2 = 0, \quad dv = dz, \quad dw = dy,$

$$13) \quad \begin{aligned} \frac{dz}{dP_1} &= \frac{(B-C)}{(BD-AC)\gamma} \\ \frac{dz}{dh} &= + \frac{(B-C)}{[(D-C) - (A-B)]} \\ \frac{dy}{dP_1} &= + \frac{(D-A)}{(BD-AC)\gamma} & dx &= 0. \\ \frac{dy}{dh} &= \frac{(D-A)}{[(D-C) - (A-B)]} \\ \frac{dP_1}{dh} &= -\gamma \frac{(BD-AC)}{[(D-C) - (A-B)]} \end{aligned}$$

Es ist ohne weiteres einzusehen, daß das Festhalten des Wagebalkens auf die Kraft P_2 keine Wirkung ausüben kann, da diese nur von ξ abhängt. Bei der Konstruktion des Apparates wird man die bewegende Kraft dP_1 möglichst groß zu machen suchen, hat dabei aber auch die Bewegungsgröße dx/dh in Rücksicht zu ziehen. Es kommen also die beiden Gleichungen in Betracht:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dh} &= \frac{(BD-AC)}{(A-B)(D-C) + [(D-C) - (A-B)]k^2 \rho} \\ \frac{dP_1}{dh} &= -\gamma \frac{(BD-AC)}{[(D-C) - (A-B)]} \quad \text{für } dx = 0. \end{aligned}$$

Die erste derselben gibt die Bewegung des freien Systems durch die Einheit der Änderung der Druckhöhe h an, während die zweite die Zunahme der Kraft P_1 durch dieselbe Ursache bei festgehaltenem Wagebalken bedeutet. Das Vorzeichen deutet darauf hin, daß mit zunehmendem h sich P_1 vermindert. Es soll meistens

$$\frac{dx}{dh} \quad \text{und} \quad \frac{dP_1}{dh} \quad \text{möglichst groß gemacht werden.}$$

Beide Bedingungen erfordern, daß C und ρ möglichst klein sind. Setzt man beide gleich Null, so erhält man

$$\frac{dx}{dh} = \frac{B}{A-B} \quad \frac{dP_1}{dh} = -\gamma \frac{B}{1 - \frac{A-B}{D}} \quad (\text{für } dx = 0).$$

Sonach muß B möglichst groß gewählt werden. Dagegen erfordert eine große Bewegungsgröße eine geringe Wandstärke der Druckglocke, während die bewegende Kraft mit $(A-B)$ gleichzeitig zunimmt.

4. Berechnung eines Winddruckmessers, erster Entwurf.

Bei allen Konstruktionen muß man zuerst in Rücksicht ziehen, was man an Rohmaterialien (Röhren, Stangen usw.) im Handel haben kann, um die einfachste und billigste Herstellungsweise zu ermitteln. Die durch Quecksilber abzusperrende Druckglocke sollte einen Durchmesser von ungefähr 100 mm erhalten. Zur Herstellung derselben kann eine Sorte der Mannesmannsiederöhren verwendet werden, welche für den Mantel der Glocke 11.2 cm äußeren und 11.0 cm inneren Durchmesser, also 1 mm Wandstärke leicht erreichen läßt. Sonach sind gegeben

$$A = 98.52 \text{ qcm} \quad B = 95.03 \text{ qcm.}$$

Der Trog sollte nun so eingerichtet werden, daß die Abstände des inneren und äußeren Mantels von dem Glockenmantel ungefähr 1 cm betragen. Es wurden 9 und 13 cm Durchmesser für C und D angenommen, was ergibt

$$C = 63.9 \text{ qcm} \quad D = 132.7 \text{ qcm.}$$

Mit diesen Zahlen erhält man nach den Formeln 12

$$\begin{aligned}
 14) \quad & dv : dx = -1.0349 + 0.00495 k^2 \rho \\
 & dw : dx = -1.0729 - 0.00539 k^2 \rho \\
 & dz : dx = -0.03498 + 0.00495 k^2 \rho \\
 & dy : dx = -0.07298 - 0.00539 k^2 \rho \\
 & dh : dx = +0.0380 + 0.01034 k^2 \rho .
 \end{aligned}$$

Für $dx = 0$ folgen aber nach den Formeln 13

$$\frac{dz}{dh} = +0.479 \quad \frac{dy}{dh} = -0.521 \quad \frac{dP_1}{dh} = -1315 \text{ gr.}$$

Würde man also den Wagebalken festhalten, so würde bei 1 cm Überdruck eine nach oben wirkende bewegende Kraft von 1315 gr entstehen und es würde dabei der äußere Quecksilberspiegel sich um 0.479 cm heben, der innere um 0.521 cm senken.

Es wird nunmehr weiter angenommen, daß die Druckglocke sich höchstens 2 cm heben kann.

I. Der Schwimmer greift nicht an.

Man hat in den Formeln 14 $\rho = 0$ zu setzen und erhält

$$\frac{dh}{dx} = +0.0380 \quad \frac{dx}{dh} = 26.32 .$$

Bei 1 cm Anstieg ist danach der Überdruck $h = 0.038 \text{ cm} = 0.38 \text{ mm}$ Quecksilbersäule, $h = 1 \text{ cm}$ würde aber eine Hebung der Glocke um 26.32 cm bewirken.

Beziehungen zwischen Winddruck und Windgeschwindigkeit.

Ist u die Geschwindigkeit in Metern für die Sekunde, p der Druck normal auf 1 qm in Kilogrammen, h die Höhe der diesem Druck entsprechenden Quecksilbersäule in Zentimetern, so soll angenommen werden

$$15) \quad h = 74.10^{-5} u^2, \quad p = 0.1 u^2 = 136 h, \quad u = 37 \sqrt{h} = 3.16 \sqrt{p} .$$

Nach diesen Annahmen ist für

$$\begin{array}{llll}
 \Delta x = 1 \text{ cm} & h = 0.038 \text{ cm} & u = 37 \times 0.195 = 7.2 \text{ m/sec} \\
 2 \text{ cm} & 0.076 \text{ cm} & 37 \times 0.276 = 10.2 \text{ m/sec.}
 \end{array}$$

Ohne Schwimmer würde ein solches Instrument also nur bis zu 10 m/sec Windgeschwindigkeit verwendbar sein.

Ich habe zuerst die folgenden weiteren Annahmen untersucht. Es soll bis zu $\Delta x = 1 \text{ cm}$, also bis zu 7.2 m/sec Windgeschwindigkeit, die Glocke frei ohne Schwimmer spielen. Von $u = 7.2$ bis 20 m/sec soll dann der weitere Anstieg der Glocke um 0.5 cm und von $u = 20$ bis 50 m/sec wieder um 0.5 cm erfolgen, was zusammen $\Delta x = 2 \text{ cm}$ ergibt. Der Schwimmer wird dann, wie dies im Bild 11 dargestellt worden war, aus zwei Teilen bestehen müssen. Der obere Teil hat einen kleineren Durchmesser als der untere. Bis zu $x = 1.5 \text{ cm}$ berührt die Quecksilberoberfläche den oberen Teil. Bei $x = 1.5 \text{ cm}$ liegt die Grenzfläche beider Teile in der Höhe der Quecksilberoberfläche und bei $x > 1.5 \text{ cm}$ ragt der untere Teil des Schwimmers über diese heraus. Man erhält aus 15 für

$$\begin{array}{llll}
 u = 7.2 \text{ m/sec} & h = 0.038 \text{ cm} & dh = 0.038 \text{ cm} & dh : dx = 0.038 \\
 20.0 \text{ m/sec} & 0.296 \text{ cm} & 0.258 \text{ cm} & 0.516 \\
 50.0 \text{ m/sec} & 1.850 \text{ cm} & 1.554 \text{ cm} & 3.108
 \end{array}$$

Zur Bestimmung von $k^2 \rho$ erhält man nach 14 die Gleichung

$$\begin{array}{llll}
 0.038 = 0.038 + 0.01034 k^2 \rho & k^2 \rho = 0.00 & \rho = 0.000 \\
 0.516 = 0.038 + 0.01034 k^2 \rho & 46.37 & 1.855 \\
 3.108 = 0.038 + 0.01034 k^2 \rho & 297.79 & 11.912 .
 \end{array}$$

Endlich ist noch eine Bestimmung der Länge der Hebelarme a und b nötig, wodurch auch k erhalten wird. Den Größenverhältnissen angemessen wurde

$$a = 6 \text{ cm} \quad b = 30 \text{ cm} \quad k = 5 \quad k^2 = 25$$

gewählt und dies ergab die obenstehenden Werte für ρ .

Nunmehr können die Querschnitte F und E bestimmt werden, wobei die Gleichung 11

$$\rho = \frac{FE}{F-E}$$

zugrunde zu legen ist.

Da ρ gegeben ist, wird man für F oder E einen Wert annehmen und daraus E oder F berechnen können. Zweckmäßiger erscheint das folgende Verfahren. Den Durchmesser des Schwimmers bezeichne ich mit d , den des Gefäßes mit Δ , woraus folgt

$$F = \frac{1}{4} \pi \Delta^2 \quad E = \frac{1}{4} \pi d^2 .$$

Weiter soll $\Delta - d = r$ sein. Wenn dann noch

$$\sigma = \frac{4}{\pi} \rho$$

gesetzt wird, so erhält man

$$d^4 + 2r d^3 + r^2 d^2 = r \sigma (r + 2d)$$

zur Bestimmung von d . Setzt man

$$x = d^4 + 2r d^3 + r^2 d^2 \quad y = r \sigma (r + 2d) ,$$

so erhält man die Gleichungen einer stark gekrümmten Kurve und einer geraden Linie, deren Schnitte die gesuchten Werte von d ergeben.

In dem vorliegenden Fall soll d für $\rho = 11.912$ und $r = 1 \text{ cm}$ bestimmt werden. Dies ergibt

$$x = d^4 + 2d^3 + d^2 \quad y = 15.16 + 30.32 d .$$

Man erhält für

d	0	1	2	3	4 cm
x	0.0	4.0	36.0	144.0	400.0
y	15.2	45.5	76.0	106.4	136.8

und sieht daraus, daß d zwischen 2 und 3 cm liegen muß. Die Annahmen $d = 2.2, 2.4, 2.6$ und 2.8 lieferten genügende Punkte zur Zeichnung der Kurve x und der Schnitt derselben mit der Geraden y ergab d etwas größer als 2.7 cm.

Aber auch hier wird man sich nach den Dimensionen der gangbaren Röhrensorten richten müssen. Da im Handel ein Mannesmannrohr von 40 mm lichter Weite vorhanden ist, wurde $\Delta = 4.0 \text{ cm}$ statt $2.7 + 1.0 = 3.7 \text{ cm}$ gewählt, somit

$$F = 12.566 \text{ qcm}$$

angenommen.

Dann folgt aus der Formel

$$E = \frac{\rho F}{F + \rho}$$

$$E = 6.115 \text{ qcm, also } d = 2.79 \text{ cm} \quad r = \Delta - d = 1.21 \text{ cm.}$$

Sonach erhält der untere Teil des Schwimmers 28 mm Durchmesser. Für den oberen Teil ergibt

$$\rho = 1.855 \text{ qcm} \quad d = 1.43 \text{ cm} \quad \Delta - d = 4.00 - 1.43 = 2.57 \text{ cm.}$$

Nunmehr können noch die weiteren unter 12 aufgeführten Gleichungen zahlenmäßig abgeleitet werden. Man erhält

$$\begin{array}{l}
 \text{für } \rho = 1.855 \text{ qcm} \\
 \frac{d\eta}{dx} = -5.739, \quad \frac{d\zeta}{dx} = -0.739, \quad \frac{dP_1}{dx} = -630 \text{ gr.}, \quad \frac{dP_2}{dx} = +126 \text{ gr.} \\
 \text{für } \rho = 11.912 \text{ qcm} \\
 \frac{d\eta}{dx} = -9.739, \quad \frac{d\zeta}{dx} = -4.739, \quad \frac{dP_1}{dx} = -4050 \text{ gr.}, \quad \frac{dP_2}{dx} = +810 \text{ gr.}
 \end{array}$$

Die Integration der Differentialgleichungen 14.

$$\text{Für } h = 0 \text{ soll } x = 0, \quad u_0 = w_0 = 3.70 \text{ cm}, \quad y_0 = z_0 = 4.20 \text{ cm.} \\
 \eta_0 = 8.5 \text{ cm}, \quad \zeta_0 = 9.0 \text{ cm}, \quad P_{0,1} = 2500 \text{ gr.}, \quad P_{0,2} = 0 \text{ sein.}$$

Als dann ist für

x	0.0 bis 1.0	1.0 bis 1.5	1.5 — 2.0	$x = 2.0 \text{ cm}$
v	$3.70 - 1.035x = 2.665 - 0.805(x-1.0) = 2.265 + 0.440(x-1.5)$			$v = 2.48 \text{ cm}$
w	$3.70 - 1.073x = 2.627 - 1.323(x-1.0) = 1.966 - 2.677(x-1.5)$			$w = 0.63 \text{ cm}$
z	$4.20 - 0.035x = 4.165 + 0.195(x-1.0) = 4.262 + 1.440(x-1.5)$			$z = 4.98 \text{ cm}$
y	$4.20 - 0.073x = 4.127 - 0.323(x-1.0) = 3.966 - 1.677(x-1.5)$			$y = 3.13 \text{ cm}$
h	$0.00 + 0.038x = 0.038 + 0.518(x-1.0) = 0.296 + 3.117(x-1.5)$			$h = 1.85 \text{ cm}$
η	$8.50 = 8.50 - 5.74(x-1.0) = 5.63 - 9.74(x-1.5)$			$\eta = 0.76 \text{ cm}$
ζ	$9.00 = 9.00 - 0.74(x-1.0) = 8.63 - 4.74(x-1.5)$			$\zeta = 6.26 \text{ cm}$
P_1	$2500 = 2500 - 630(x-1.0) = 2185 - 4050(x-1.5)$			$P_1 = 160 \text{ gr}$
P_2	$0 = 0 + 126(x-1.0) = 63 + 810(x-1.5)$			$P_2 = 468 \text{ gr}$

Die Werte $w = 0.63$ cm, $\eta = 0.76$ cm und $P_1 = +160$ gr für $x = 2.0$ lehren, daß die Glocke und der Schwimmer bei dem größten Druck noch 6 beziehentlich 8 mm in das Quecksilber eintauchen und P_1 nicht negativ wird, worauf es besonders ankommt. Nach der zweiten der Grundgleichungen X muß

$$\text{also } P_{0,1} = G - \gamma(A v_0 - B w_0),$$

$$2500 = G - 13.6 \times 3.49 \times 3.7 = G - 175 \text{ gr}$$

sein. Hieraus folgt $G = 2500 + 175 = 2675$ gr, es würden aber 2500 gr ausreichen und dann bei dem größten Druck P_1 gerade Null werden.

5. Berechnung eines Winddruckmessers, zweiter Entwurf.

Die Glocke soll von $x = 0$ bis $x = 1$ cm frei vom Schwimmer spielen, der Schwimmer soll so eingerichtet werden, daß bei $x = 2$ cm die Windgeschwindigkeit etwas über 30 m/sec ist. Beibehalten wurden $A = 98.52$, $B = 95.03$, $C = 63.6$, $D = 132.7$, $F = 12.6$ qem, $k = 5$, $v_0 = w_0 = 3.70$ cm, $y_0 = z_0 = 4.20$ cm.

Auf die gleiche Weise ergab sich

$$k^2 \rho = 66.2 \quad \rho = 2.648 \quad E = 2.155 \text{ qem} \quad d = 1.65 \text{ cm}$$

und damit

$$\frac{d\eta}{dx} = -0.602 \quad \frac{d\zeta}{dx} = -1.03 \quad \frac{dP_1}{dx} = -900 \quad \frac{dP_2}{dx} = +180$$

und für $k^2 \rho = 66.2$ nach 14

$$\frac{dv}{dx} = -0.707 \quad \frac{dw}{dx} = -1.430 \quad \frac{dz}{dx} = +0.293 \quad \frac{dy}{dx} = -0.430$$

$$\frac{dh}{dx} = +0.723.$$

Die Annahme

$$P_{0,1} = 900 \text{ gr} \quad \tau_0 = 8.50 \quad \zeta_0 = 9.00$$

ergibt dann

$x = 0.0$ bis 1.0	$x = 1.0$ bis 2.0	$x = 0$	$x = 1$	$x = 2$ cm
$v = 3.70 - 1.035 x$	$x = 2.67 - 0.707(x - 1)$	3.70	2.67	1.96 cm
$w = 3.70 - 1.073 x$	$x = 2.63 - 1.430(x - 1)$	3.70	2.63	1.20 cm
$z = 4.20 - 0.035 x$	$x = 4.165 + 0.293(x - 1)$	4.20	4.17	4.46 cm
$y = 4.20 - 0.07 x$	$x = 4.127 - 0.430(x - 1)$	4.20	4.13	3.70 cm
$h = 0.00 + 0.038 x$	$x = 0.038 + 0.723(x - 1)$	0.00	0.038	0.76 cm
$\eta = 8.50$	$= 8.50 - 6.02(x - 1)$	8.50	8.50	2.50 cm
$\zeta = 9.00$	$= 9.00 - 1.02(x - 1)$	9.00	9.00	8.00 cm
$P_1 = 900$	$= 900 - 900(x - 1)$	900	900	0 gr
$P_2 = 0$	$= 0 + 180(x - 1)$	0	0	180 gr.

Das Gewicht der Glocke muß $G = 900 + 175 = 1075$ gr sein. Für $dx = 0$ verbleibt

$$\frac{dz}{dh} = +0.48, \quad \frac{dy}{dh} = -0.52 \text{ und die bewegende Kraft } \frac{dP}{dh} = -1315 \text{ gr.}$$

Die nachstehende Tabelle gestattet eine Übersicht der den Ausschlägen x entsprechenden Werte von h und u . Dabei fällt unangenehm auf, daß von $x = 0.0$ bis 0.1 , u von 0.0 auf 2.3 m/sec steigt, von $x = 0.1$ bis 0.2 , aber nur noch um 0.9 m/sec. Noch schlimmer ist dies aber in der Nähe von $x = 1$. Von $x = 0.9$ bis 1.0 wächst u um 0.6 m/sec, von $x = 1.0$ bis 1.1 aber um 4.9 m/sec.

x	h	u	x	h	u
0.0	0.0000	0.0	1.0	0.0380	7.4
0.1	0.0038	2.3	1.1	0.1103	12.3
0.2	0.0076	3.2	1.2	0.1826	15.8
0.3	0.0114	4.0	1.3	0.2549	18.7
0.4	0.0152	4.6	1.4	0.3271	21.2
0.5	0.0190	5.1	1.5	0.3995	23.4
0.6	0.0228	5.6	1.6	0.4718	25.4
0.7	0.0266	6.0	1.7	0.5441	27.3
0.8	0.0304	6.4	1.8	0.6164	29.0
0.9	0.0342	6.8	1.9	0.6887	30.7
1.0	0.0380	7.4	2.0	0.7610	32.3

Die geringe Empfindlichkeit bei schwachen Winden wird sich kaum beseitigen lassen, wenn dasselbe Instrument auch für Stärken bis zu 30 m/sec und mehr verwendet werden soll. Dagegen wird der starke Wechsel der Bewegungsgröße bei dem Angreifen des Schwimmers sich dadurch beseitigen lassen, daß man ihm die Kegelform in den Teilen gibt, die mit der Quecksilberoberfläche in Berührung kommen. Dieser Kegel muß dann dasselbe Volumen haben als der ursprünglich vorausgesetzte Zylinder bei gleicher Länge. Ist R der Radius der Basis des Kegels, r der des Zylinders, so muß

$$R^2 = 3r^2$$

sein. In der Figur auf Bild 22 ist dies durch den punktierten Kegel angedeutet worden. Allerdings hört dann die Proportionalität zwischen x und h auf. Es wird aber kaum viel Schwierigkeiten machen, auch diese Einrichtung theoretisch zu behandeln. Einfacher dürfte es aber sein, das Gesetz $h = f(x)$ empirisch mit Hilfe des nachstehend behandelten Gewichtswagemanometers abzuleiten.

Die Gewichtswagemanometer.

Als Gewichtswagemanometer kann man die Instrumente bezeichnen, bei denen die Druckdifferenz durch Wägung bestimmt wird. Mein erster Vorschlag nach dieser Richtung ist bereits bei dem Bild 20 Fig. 2 besprochen worden. Praktisch habe ich dieses Verfahren bei der Eichung von Manometern für kleine Druckunterschiede angewendet und dabei die in Fig. 27 und 28 dargestellten Instrumente verwendet. Bei beiden hängt die Röhre oder Druckglocke an einem Wagebalken, dessen Schwerpunkt in der Drehachse liegt. Der nur kleine Ausschlag des Wagebalkens kann an einem Gradbogen abgelesen werden. Durch ein Laufgewicht und kleinere auf die Schale gelegte Gewichte kann die Wage zum Einspielen gebracht werden. Sonach bleibt die Röhre nahezu in derselben Lage. Wenn h die Druckdifferenz, ausgedrückt durch die Höhe einer Flüssigkeitssäule von der Dichte γ , ΔG die Gewichtszulage und λ den noch übrigbleibenden Ausschlag des Wagebalkens bedeuten, so wird man eine Gleichung

$$h = K_1 \Delta G + K_2 \lambda$$

ableiten können. Zwischen dem Ausschlag λ und der Röhrenstellung x besteht dann noch die Beziehung

$$\lambda = K_3 (x - x_0).$$

Wenn man in der unteren Figur des Bildes 22 den Schwimmer sich weggelassen denkt, so erhält man als Grundgleichungen

$$P = G - A \gamma v + B \gamma w$$

$$M = (D - C) x + (D - A) v + (B - C) w$$

$$z = v + x - h + w + x - h + y$$

$$y = w + x.$$

Bei der Differentiation dieser Gleichungen sind P und M als Konstante zu betrachten. Man erhält dann die folgenden Gleichungen:

$$dz = + \frac{B - C}{\gamma(BD - AC)} dG - \frac{(A - B)C}{BD - AC} dx$$

$$dy = - \frac{D - A}{\gamma(BD - AC)} dG - \frac{(A - B)D}{BD - AC} dx$$

$$dh = + \frac{B + D - A - C}{\gamma(BD - AC)} dG + \frac{(A - B)(D - C)}{BD - AC} dx.$$

Setzt man

$$A = B + q \quad q = A - B,$$

so wird

$$dh = + \frac{(D - C) - q}{(D - C)B - Cq} \cdot \frac{dG}{\gamma} + \frac{(D - C)q}{(D - C)B - Cq} dx.$$

Je kleiner q ist, um so geringer wird ein Fehler in der Bestimmung des Ausschlags der Wage, oder in der Herstellung einer unveränderten Höhe der Röhre, $d x = 0$, werden. Kann man q so klein machen, daß es $= 0$ gesetzt werden darf, so wird

$$d h = \frac{d G}{\gamma B} \quad q = 0,$$

es wird also das ganze Meßverfahren von der Genauigkeit abhängen, mit der γB bestimmt worden ist. Für sehr kleine Druckunterschiede muß γB möglichst groß gewählt werden.

Bei dem in Fig. 27 dargestellten Instrument ist

$$A = 8.55 \text{ qem} \quad B = 7.07 \text{ qem} \quad C = 0.5 \text{ qem} \quad D = 214 \text{ qem.}$$

Mit diesen Zahlen findet man

$$\begin{aligned} z &= z_0 + 0.0044 \frac{G}{\gamma} - 0.0006 x \\ y &= y_0 - 0.1362 \frac{G}{\gamma} - 0.2128 x \quad z_0 = y_0 \\ h &= + 0.1406 \frac{G}{\gamma} + 0.2122 x \end{aligned}$$

Der aus der Figur ersichtliche am Wagebalken angebrachte Zeiger ist genau so lang als der Hebelarm, an dem die Röhre angreift. Die Teilungseinheit des Gradbogens ist genau 1 mm, so daß man an ihm sofort den Wert $x = 0.1 \lambda$ ablesen kann.

Als Absperrflüssigkeit kann man Quecksilber, Wasser, aber auch jede andere Flüssigkeit verwenden. Man hat nur zu beachten, daß die Formeln den Druck h als die Höhe einer aus der Absperrflüssigkeit bestehenden Säule in Zentimetern angeben. Ist diese Flüssigkeit Quecksilber, so erhält man also h in Zentimetern Quecksilbersäule, kann diese dann aber auch in Wassersäule oder Petroleumsäule usw. umrechnen.

1. Absperrflüssigkeit ist Quecksilber. $\gamma = 13.6 \text{ gr.}$

$$\begin{aligned} z &= z_0 + 0.00033 G - 0.0006 x & z_0 &= y_0 & x &= 0.1 \lambda \\ y &= y_0 - 0.01001 G - 0.2128 x & & & & \text{Alle Maße in Zentimetern.} \\ h &= + 0.01034 G + 0.2122 x & & & & G \text{ in Gramm.} \end{aligned}$$

Für den praktischen Gebrauch wird man h in Millimetern und x durch λ ausdrücken und erhält so

$$\begin{aligned} h &= 0.1034 G + 0.2122 \lambda & \text{Millimeter Quecksilbersäule} \\ &= 1.407 G + 2.88 \lambda & \text{,, Wassersäule} \\ &= 1.758 G + 3.60 \lambda & \text{,, Petroleumsäule } (\gamma = 0.8). \end{aligned}$$

2. Absperrflüssigkeit ist Petroleum. $\gamma = 0.8 \text{ gr.}$

$$\begin{aligned} z &= z_0 + 0.0055 G - 0.0006 x \\ y &= y_0 - 0.1703 G - 0.2128 x \\ h &= + 0.1758 G + 0.2122 x & \text{Zentimeter Petroleumsäule} \\ &= + 1.758 G + 0.2122 \lambda & \text{Millimeter „} \\ &= + 1.407 G + 0.170 \lambda & \text{,, Wassersäule} \\ &= + 0.1034 G + 0.013 \lambda & \text{,, Quecksilbersäule.} \end{aligned}$$

Wenn also die Messung derart durchgeführt wird, daß die Wage genau einspielt, also $\lambda = 0$ wird, hat die Dichte der Absperrflüssigkeit gar keinen Einfluß. Es ist dann eine nichtbenetzende Flüssigkeit vorzuziehen. Läßt man aber noch einen Ausschlag λ bestehen, so wird ein Fehler in diesem Wert einen um so geringeren Einfluß haben, je geringer die Dichte der Absperrflüssigkeit ist. Das Instrument reicht für $h = \pm 100 \text{ mm}$ aus, gestattet aber keine sehr große Genauigkeit, es wird ein Fehler von $\pm 1 \text{ gr}$ in G die Höhe h um $\pm 0.1 \text{ mm}$ Quecksilber, oder $\pm 1.4 \text{ mm}$ Wassersäule unrichtig ergeben. Bei Absperrung durch Quecksilber kommt dann noch ein Fehler in λ stark in Rechnung, bei Wasser und Petroleum wird aber die an der Wandung der Röhre hängenbleibende Masse innen mehr oder weniger große Fehler bedingen können. In den meisten Fällen reicht aber diese Genauigkeit aus.

Bei dem aus Fig. 28 ersichtlichen Instrument ist

$$A = 712 \text{ qem} \quad B = 702 \text{ qem} \quad C = 2 \text{ qem} \quad D = 804 \text{ qem.}$$

Damit erhält man

$$\begin{aligned} z &= z_0 + 0.001244 G - 0.000035 x & \text{Wasserabsperrung} \\ y &= y_0 - 0.000163 G - 0.014287 x & \text{Längen in Zentimetern} \\ h &= + 0.001407 G + 0.014252 x \end{aligned}$$

oder

$$\begin{aligned} z &= z_0 + 0.000092 G - 0.000035 x & \text{Quecksilberabsperrung} \\ y &= y_0 - 0.000012 G - 0.014287 x & \text{Längen in Zentimetern} \\ h &= + 0.000104 G + 0.014252 x. \end{aligned}$$

Wenn bei Quecksilberabsperrung h in Millimetern und $\lambda = 0.1 x$ eingeführt wird, so erhält man

$$h = 0.00104 G + 0.01425 \lambda \text{ Millimeter Quecksilbersäule.}$$

Multipliziert man diese Gleichung mit 13.6, so gibt sie h in Millimetern Wassersäule und damit den Druck p auf 1 qm in Kilogrammen, also

$$p = 0.01407 G + 0.1938 \lambda \text{ kg/qm.}$$

Aus Gleichung 15 (Seite 52) folgt dann

$$u^2 = 10 p = (0.37)^2 G + (1.39)^2 \lambda,$$

worin u die Geschwindigkeit des Windes in m/sec bedeutet, welcher den Druck p kg/qm ausüben kann.

Das Instrument ist scheinbar zu empfindlich, da es Druckdifferenzen von weniger als 0.01 mm Quecksilber- oder 0.1 mm Wassersäule angeben kann. Wenn es aber zur Messung der Luftbewegung verwendet werden soll, bekommt man andere Ansicht. Ist λ genau gleich Null, so ist $u = 0.37 \sqrt{G}$, so daß 0.37 m/sec nur durch 1 gr Gewichtsänderung der Druckglocke angezeigt werden. Ist aber $G = 0$, so bedingt eine Windstärke von 1.39 m/sec einen Ausschlag von nur 1 mm. Die Messung von Luftbewegungen unter 1 m/sec wird stets eine mißliche Sache bleiben. Als Variometer wird das Instrument aber ebenso gute Dienste leisten können, wie die bisher konstruierten Instrumente für kleine Druckschwankungen in der Atmosphäre.

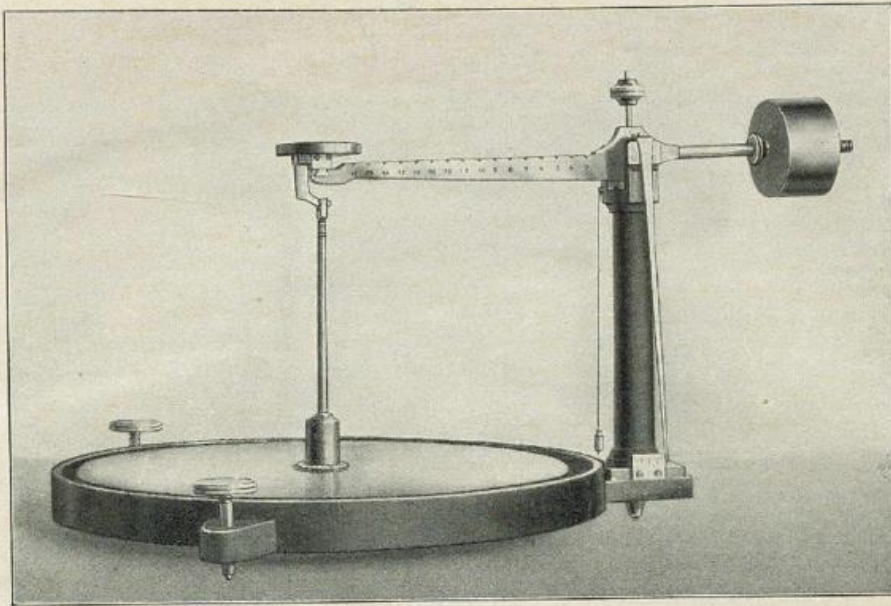


Fig. 27

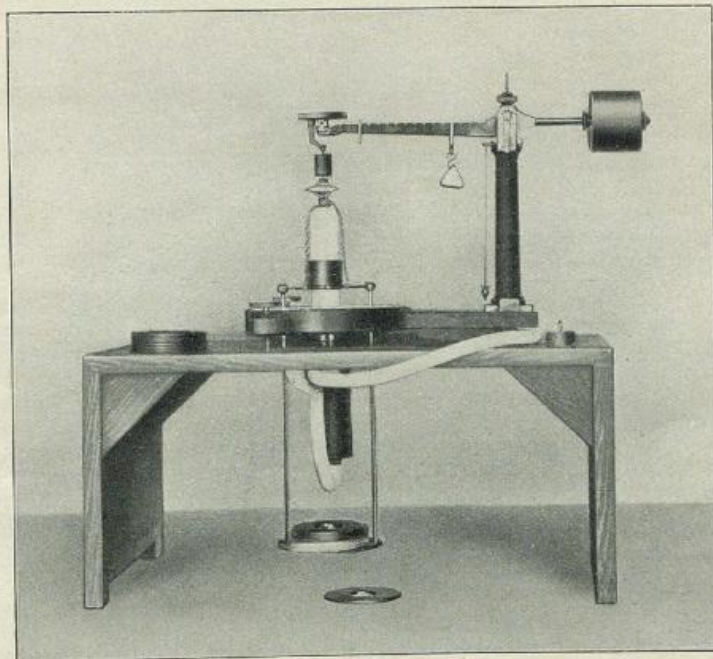
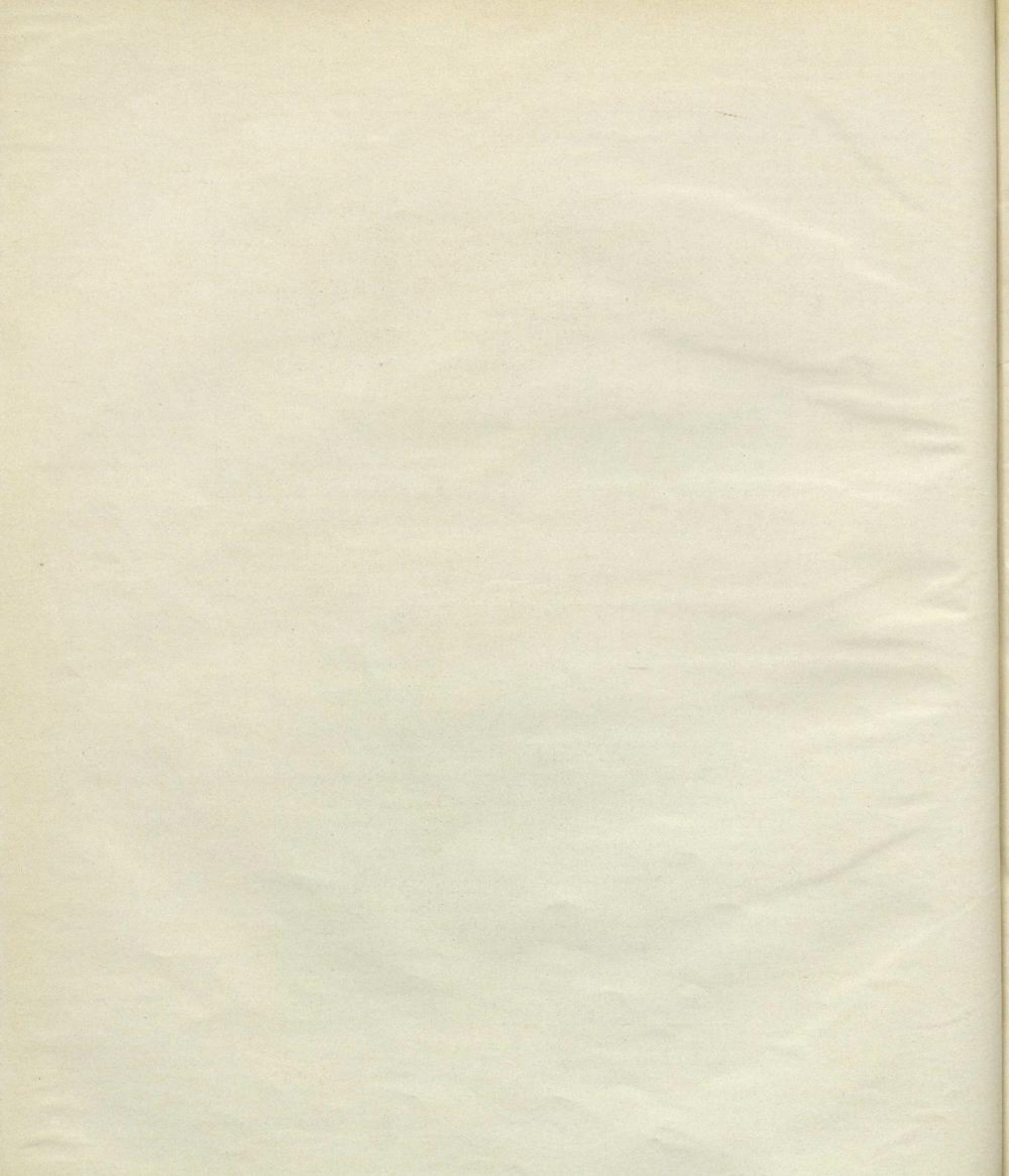


Fig. 28



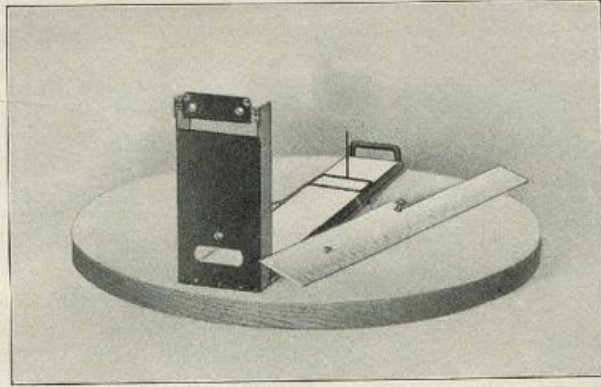


Bild 24

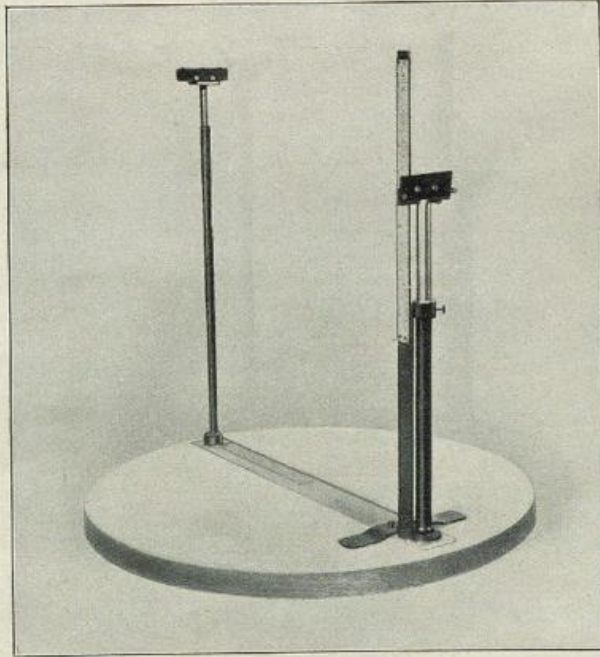
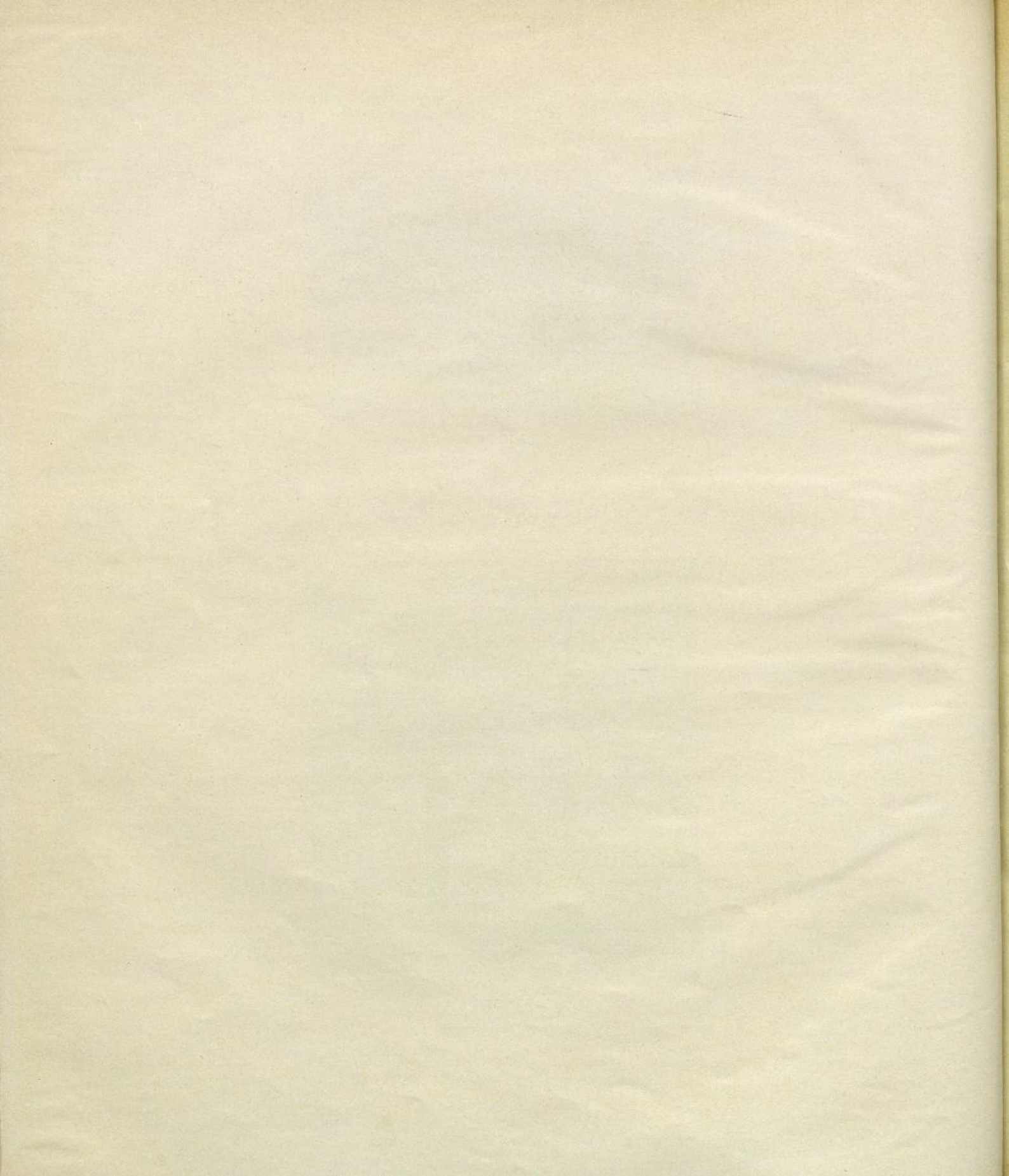


Bild 26



Die Messung der Richtung und Geschwindigkeit des Wolkenzuges.

Ableitung des Beobachtungsverfahrens.

Die Ermittlung der Wolkenbewegung stößt auf viele Schwierigkeiten. Die Wolken sind meist ausgedehnte, rasch in ihrer Form wechselnde Gebilde, welche nur selten fest und bestimmt auftretende und leicht erkennbare Stellen für die Einstellung der Meßinstrumente darbieten. Es ist selbst demselben Beobachter schwer, eine derartige Stelle längere Zeit hindurch sicher im Auge zu behalten. Das beste Mittel, die Einstellung einer Wolke von mehreren Stellen aus, um klaren Aufschluß über die Bewegung zu erhalten, kann nur äußerst selten angewendet werden, da bei größerer Entfernung der Beobachtungsstellen eine Verständigung der Beobachter über die einzustellende Wolke selbst durch den Fernsprecher kaum möglich sein könnte. Die photographischen Verfahren erfordern die Herstellung und Ausmessung der Bilder, können also erst nach viel Arbeit und langer Zeit die Ergebnisse liefern.

Um also wenigstens einigermaßen brauchbare Aufzeichnungen über die Wolkenbewegung an einer Wetterwarte regelmäßig sichern zu können, muß man sich mit der Bestimmung der Richtung des Wolkenzuges und der relativen Geschwindigkeit desselben begnügen. Unter der letzteren versteht man die in Metern/Sekunde ausgedrückte Geschwindigkeit der Wolke unter der Voraussetzung, daß sich die Wolke in der gleichen Höhe von 1 km bewegt. Um die wahre Geschwindigkeit der Wolke zu erhalten, hat man also die relative Geschwindigkeit mit der in Kilometern ausgedrückten Wolkenhöhe zu multiplizieren. Diese Höhe muß man dann auf andere Weise zu bestimmen suchen. Einen Anhalt bietet die Wolkenform. Bei größerer Ausdehnung der Wolkendecke wird das Aufsteigen von kleinen Ballonen mit bekannter Geschwindigkeit helfen können. Man kann dann aus der Zeit der Sichtbarkeit eines solchen Ballons auf die Wolkenhöhe schließen.

Haben zwei Wetterwarten möglichst großen Unterschied der Höhenlage, sind sie aber horizontal so wenig entfernt, daß sie die gleichen Wolken-schichten beobachten können, so wird man aus der Messung der relativen Geschwindigkeit an beiden Stationen die Wolkenhöhe und die wahre Geschwindigkeit ermitteln können. Wenn H Kilometer die Wolkenhöhe über dem Meeresniveau, h_1 und h_2 die Höhen der Wetterwarten, r_1 und r_2 die an diesen gemessenen relativen Geschwindigkeiten und w die wahre Wolken-geschwindigkeit bedeuten, so muß

$$w = r_1 (H - h_1) = r_2 (H - h_2)$$

$$H = \frac{r_1 h_1 - r_2 h_2}{r_1 - r_2}$$

sein.

Die relative Geschwindigkeit ist eigentlich eine Winkelgröße und die Beobachtungen bestehen nur aus Winkelmessungen. Sonach wird jedes Winkelmeßinstrument verwendbar sein. Da aber die Wolken fast stets nur in der Umgebung des Zeniths zu beobachten sind, verwendet man meist und mit genügender Genauigkeit die als Wolken Spiegel längst bekannten Instrumente. Ich habe diese Wolken Spiegel in vielen Beziehungen wesentlich abgeändert und gebe im nachstehenden eine Beschreibung der von mir konstruierten, in meiner Werkstatt hergestellten und in Wahnsdorf im regelmäßigen Gebrauch befindlichen Instrumente.

In der Figur oben links des Bildes 23 stellt Y X eine horizontale spiegelnde Ebene vor. Über dieser bewegt sich ein Punkt in der Höhe Z_1 . In A befindet sich das Auge des Beobachters und sieht nach dem Spiegelbild N_1 des Punktes. Dieses Auge empfängt dann den Eindruck, als ob der Punkt in O_1 auf der Spiegelfläche läge. Es wird nun angenommen, daß der Punkt aus der Lage Z_1 sich nach Z_2 in der geraden Linie $Z_1 Z_2$ bewegt. Dann ergeben sich aus der Figur folgende Proportionen:

$$\overline{CA} : \overline{CO_1} = \overline{F_1 N_1} : \overline{O_1 F_1}$$

$$\overline{CA} : \overline{CO_2} = \overline{F_2 N_2} : \overline{O_2 F_2}$$

Wenn der Punkt in gleicher Höhe über der spiegelnden Ebene bleibt, so muß

$$\overline{F_1 N_1} = \overline{F_2 N_2} = \overline{F_1 Z_1} = \overline{F_2 Z_2} = \overline{FZ}$$

sein, woraus folgt

$$\overline{CA} : \overline{FZ} = \overline{CO_1} : \overline{O_1 F_1} = \overline{CO_2} : \overline{O_2 F_2}$$

Sonach ist auch

$$\overline{CO_1} : \overline{CO_2} = \overline{O_1 F_1} : \overline{O_2 F_2} = \overline{CF_1} : \overline{CF_2}$$

und weiter

$$\overline{CO_1} : \overline{CF_1} = \overline{CO_2} : \overline{CF_2} = \overline{O_1 O_2} : \overline{F_1 F_2}$$

sowie

$$\overline{O_1 O_2} \parallel \overline{F_1 F_2}$$

An einer jeden Stelle Z des Punktes muß also

$$\frac{\overline{ZF}}{\overline{CA}} = \frac{\overline{OF}}{\overline{CO}} \quad \text{und} \quad \frac{\overline{F_1 F_2}}{\overline{O_1 O_2}} = \frac{\overline{CF}}{\overline{CO}}$$

sein.

Es werden die folgenden Bezeichnungen eingeführt:

$$\overline{ZF} = H, \quad \overline{CA} = h, \quad \overline{CO} = r, \quad \overline{CF} = R, \quad \overline{OF} = R - r,$$

$$\overline{O_1 O_2} = s, \quad \overline{F_1 F_2} = S$$

und damit erhalten

$$1) \quad \frac{H}{h} = \frac{R}{r} - 1 = \frac{S}{s} - 1 \quad s \parallel S.$$

Sind H und R sehr groß gegen h und r, so wird einfach

$$2) \quad R = \frac{r}{h} H \quad S = \frac{s}{h} H \quad s \parallel S.$$

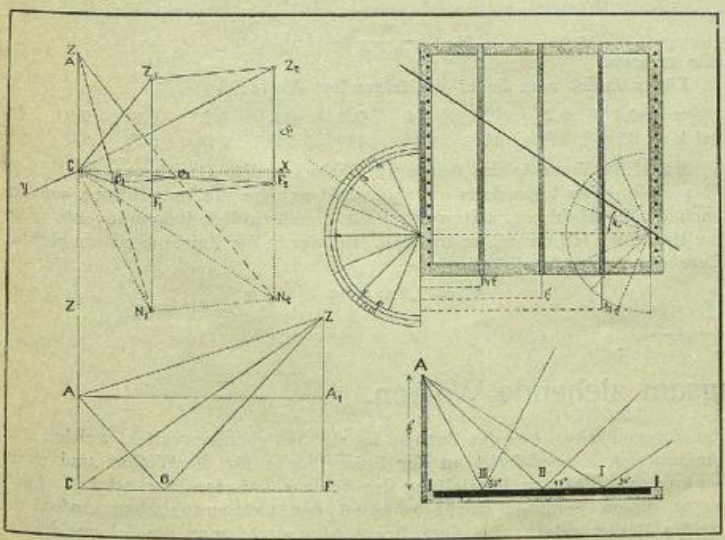


Bild 23

H ist die Höhe des Punktes über der Spiegelfläche, R seine horizontale Entfernung von C und S sein Weg. h ist gegeben, die Entfernung r des Spiegelpunktes O von C und der Weg des Spiegelpunktes s können gemessen werden. Man kann also R und S daraus berechnen, wenn H bekannt ist.

Die Bestimmung von H unterliegt keinen Schwierigkeiten, wenn es sich um einen scharf einstellbaren und sicher erkennbaren Punkt handelt. Aus der Figur links unten auf Bild 23 ersieht man, daß man drei Winkel bestimmen kann.

Ist $\angle ZCF = \varphi$ die wahre Höhe des Punktes über dem Horizont, so erscheint diese in A um eine kleine Größe δ kleiner, in O aber um die kleine Größe ε größer als φ . Es ist

$$\begin{aligned} ZF &= H & AC &= A_1F = h & AA_1 &= CF = R & CO &= r \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{H}{R} & \operatorname{tg}(\varphi - \delta) &= \frac{H-h}{R} & \operatorname{tg}(\varphi + \varepsilon) &= \frac{h}{r} = \frac{H}{R-r} \\ H &= \frac{h \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg}(\varphi - \delta)} = \frac{h \operatorname{ctg}^2(\varphi + \varepsilon)}{\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg}(\varphi + \varepsilon)} \\ \operatorname{tg} \delta &= \frac{(1-\rho) \operatorname{tg} \varphi}{1 + \rho \operatorname{tg}^2 \varphi} & \rho &= \frac{H-h}{H} \\ \operatorname{tg} \varepsilon &= \frac{(\rho-1) \operatorname{tg} \varphi}{1 + \rho \operatorname{tg}^2 \varphi} & \rho &= \frac{H+h}{H} \end{aligned}$$

δ ist der Winkel, unter welchem h von Z aus erscheint, während r von Z aus unter dem Winkel ε gesehen wird. Ist h sehr klein gegen H, so sind auch diese Winkel sehr klein, es wird ρ sehr nahe 1 und man bekommt einfacher mit großer Näherung

$$\delta = \varepsilon = \frac{1}{2} \frac{h}{H} \sin 2\varphi.$$

Diese Winkel erreichen sonach ihr Maximum bei $\varphi = 45^\circ$ und sind bei

$\frac{h}{H}$	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
$\delta = \varepsilon$	17'	34'	52'	69'	86'	103'	120'	138'	155'	172'

Ist ein Turm h = 25 m hoch, so wird bei H = 1 km $\delta = 38'$ sein, bei H = 10 km aber immer noch 3.8'.

Die relative Wolkenbewegung.

In den Formeln 2

$$R = \frac{r}{h} H \quad S = \frac{s}{h} H$$

sollen r, h und s in Zentimetern ausgedrückt werden. Setzt man dann H = 1 km, so sind in den Formeln

$$3) \quad R = \frac{r}{h} \quad S = \frac{s}{h} \quad w = 1000 \frac{S}{t} \quad \frac{m}{\text{sec. km}}$$

R und S die horizontale Entfernung und der Wolkenweg, während t Sekunden in Kilometern, w aber die relative Wolken geschwindigkeit in Metern für eine Sekunde unter der Voraussetzung, daß sich die Wolke in der Höhe 1 km bewegt. Um die wirklichen Werte von R, S und w zu erhalten, hat man diese relativen Werte noch mit der in Kilometern ausgedrückten Wolkenhöhe H zu multiplizieren.

Der Wolken Spiegel für rasch ziehende Wolken in der Umgebung des Zenithes.

Wenn es sich nur um die Bestimmung der Zugrichtung der Wolken handelt, wird der kleine kreisförmige Wolken Spiegel wohl der zweckmäßigste sein. Man hält bei diesem das Auge so, daß eine Wolke im Mittelpunkt des Spiegels gesehen wird und bestimmt dann die Richtung, nach der sie sich bewegt. Wenn es sich aber darum handelt, die relative Geschwindigkeit der Wolkenbewegung zu ermitteln, wird er nur bei sehr rasch ziehenden Wolken und auch da nur mit Unbequemlichkeiten Verwendung finden können. Es gab dies Veranlassung zur Herstellung des auf Bild 23 rechts dargestellten Instrumentes. Dasselbe besteht aus einer quadratischen Holzplatte von 40 cm Seitenlänge. In eine Vertiefung in dieser Platte wird ein schwarzer oder heller Spiegel eingelegt. Das Visier A hat 20 cm Höhe über der spiegelnden Fläche und die Breite einer Brille. In der Mitte kann ein passender Bügel für die Nase wie bei der Brille angebracht werden, ist aber nicht nötig. Man sieht also mit beiden Augen über eine wagrechte Kante hinweg. Parallel zur Visierkante liegen 3 starke Drähte in den Abständen 10 cm = 1/2 h, 20 cm = h und 30 cm = 3/2 h. An den Rändern der Platte sind dann noch Stifte in je 2 cm Abstand eingeschlagen und zwischen diese kann ein Stab gelegt werden derart, daß sich die Wolke längs des Stabes bewegt. Durch einen Halbkreis, welcher an der dem Visier entgegengesetzten Kante des Spiegels angelegt wird, läßt sich dann die Richtung der Wolkenbewegung mit beliebiger Genauigkeit bestimmen.

Denkt man sich den Spiegel so gelegt, daß die Wolke sich senkrecht zur Visierkante bewegt, so wird ihre relative Entfernung $R = r : h$ sein beim Durchgang durch Faden

I	II	III
R = 1.5	1.0	0.5 km.

Sonach ist der relative Weg S von Faden zu Faden je 0.5 km. Ist dann t die Zeit zwischen je zwei Fadendurchgängen in Minuten, so ist die relative Geschwindigkeit der Wolkenbewegung

$$w = \frac{1000 S}{60 t} = \frac{8.33}{t} \frac{m}{\text{sec. km}}$$

Bewegt sich die Wolke sehr rasch, so wird man den mittleren Draht auslassen und hat dann 1 km relativen Wolkenweg in t Minuten, also

$$w = \frac{16.67}{t} \frac{m}{\text{sec. km}}$$

Steht die Visierkante aber nicht senkrecht zur Bewegungsrichtung der Wolke, so wird der Weg des Spiegelpunktes mit der Normalen zur Visierkante einen Winkel φ einschließen. Die Beobachtung der Fadendurchgänge ergibt dann die Komponente der Wolken geschwindigkeit in der Richtung der Normalen. Ist w diese Komponente, w_0 die wirkliche Geschwindigkeit, so wird

$$w_0 = \frac{w}{\cos \varphi} = (1+x)w$$

sein müssen.

Für x findet man leicht die folgenden Werte:

x = 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
bei $\varphi = 25^\circ$	34°	40°	44°	48°	51°	54°	56°	58°	60°

Mit Hilfe dieser Zahlen wurde die Skala auf dem Gradbogen auf Bild 23 hergestellt. Man kann dann auf ihm nicht nur die Wolkenrichtung, sondern auch die Zahl ablesen, mit welcher die Geschwindigkeitskomponente w zu multiplizieren ist, um w_0 zu erhalten. Bei der in der Zeichnung dargestellten Lage des Richtungsstabes würde

$$w_0 = 1.2 w = w + 0.2 w \quad \text{sein}$$

Der Wolken Spiegel für langsam ziehende Wolken.

Das von mir konstruierte Instrument ist in Bild 24 dargestellt worden. Der Spiegel, welcher mit weißem Papier beim Photographieren überdeckt worden war, ist ungefähr 500 mm lang und 80 mm breit. Er liegt in einer Metallschiene, welche um ihre Mitte über einer Holzscheibe drehbar ist. Die Schiene trägt an der einen Seite das Visier in Brillenform, 20 cm über

der Spiegelfläche. Auf der Schiene ist ein Schieber beweglich, welcher den horizontalen Einstelldraht an der Spiegelfläche für die Wolken und einen senkrechten Stab zur Einstellung der Schiene auf eine Marke trägt. Auch unter diesen Schieber wurde während der photographischen Aufnahme weißes Papier gelegt. Bei dem Beobachten dreht man die Schiene in die

Wolkenrichtung, stellt den Schieber auf den Spiegelpunkt und macht mit Bleistift an der rechten Seite der Schiene einen genau bei dem Einstelldraht des Schiebers beginnenden Strich bis zum Visier. Jede Beobachtung liefert also eine Gerade, deren Länge die relative horizontale Wolkenentfernung

$$R = \frac{r}{h} = \frac{r}{20}$$

ergibt. Es ist dieser Vorgang aus der Figur links oben im Bild 25 zu ersehen. Bei der ersten Beobachtung steht die Wolke in der Richtung I, der Spiegelpunkt liegt bei A, es ist also $r_1 = OA$. Nach der Zeit t steht die Wolke in der Richtung II und es ist $r_2 = OB$. Nunmehr wird die Schiene abgehoben und der Maßstab aufgesetzt. Die rechte Seite desselben trägt, wie dies Bild 25 oben rechts zeigt, eine Teilung, welche die relative horizontale Entfernung der Wolke in Kilometern angibt. Die Teilungseinheit ist also $= h = 20$ cm. Auf der linken Seite des Maßstabes ist eine von der Drehachse beginnende Teilung mit der Einheit $= \frac{1}{2} h$ angebracht. Man legt zuerst den Maßstab an die Linie OA und liest $R_1 = 2.28$ km ab. Diese Ablesung trägt man auf der linken Seite auf und erhält so die Linie Ca auf der Zeichenfläche. Wird der Maßstab dann an OB angelegt, so findet man $R_2 = 0.94$ km und kann die Gerade Cb ziehen. Die Linie ab, welche meist von einem geradlinigen Verlauf nur wenig abweichen dürfte, ist dann der relative Wolkenweg S in Einheiten der Teilung an der linken Seite des Maßstabes, also auch in Kilometern während der Zeit t unter der Annahme der Wolkenhöhe $= 1$ km. Den wahren Wert erhält man durch Multiplikation mit H. Wird dann a b parallel an C gelegt, was die Linie RR ergibt, so kann man an der Windrosenscheibe (Bild 25) die Richtung des Wolkenzuges ablesen. Um dies zu ermöglichen, muß man auf der Zeichenfläche bei Beginn der Messung die Richtung nach einer Marke M, deren Azimut bekannt ist, angeben. Diese Richtung wird bei Einrichtung der Messungen

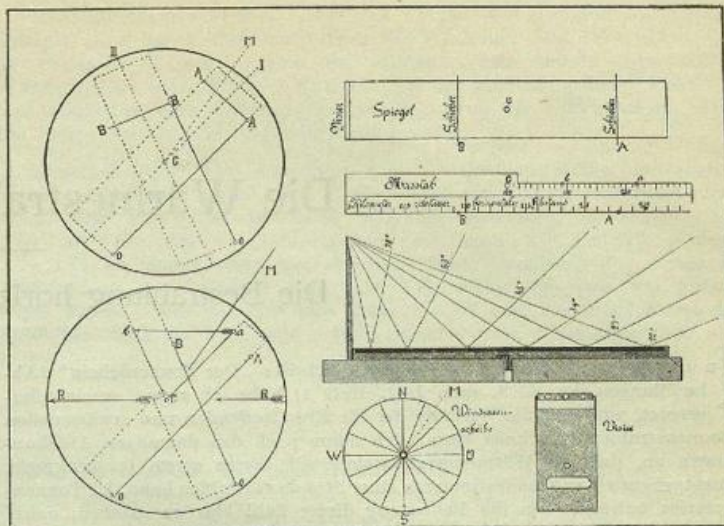


Bild 25

von einer Stelle aus festgelegt und auf der Windrosenscheibe eingezeichnet. Zu der Darstellung des Visiers im Bild 25 rechts unten ist nur noch zu erwähnen, daß das Visierloch in der Mitte zur Einstellung der Marke bestimmt ist. Das Visier hat Brillenform, es wird also mit beiden Augen beobachtet und es können Streifen aus farbigem Glas eingesetzt werden.

Das Wolkentachometer.

Wenn die Wolken sehr entfernt sind, so daß sie unter weniger als 30° Höhenwinkel erscheinen, ist ein Spiegel nicht nötig, es kann dann mit jedem anderen Winkelmeßinstrument bequem gearbeitet werden. Sind H die Wolkenhöhe, R der horizontale Abstand und α der Höhenwinkel, so sind

$$\begin{aligned} \text{der wahre Horizontalabstand} & R = H \cdot \cotg \alpha \\ \text{„ relative „} & R = \cotg \alpha. \end{aligned}$$

In Bild 26 ist die Einrichtung eines solchen Instruments dargestellt worden. Es stehen im Abstand von 50 cm zwei Säulen mit Visierkanten. Die vordere kann in der Höhe verstellt werden, die hintere hat die konstante Höhe von 60 cm über der Zeichenfläche der Holzscheibe. Die vordere Kante bewegt sich an einem Maßstab, an dem man die relative horizontale Entfernung in Kilometern ablesen kann. Die Metallschiene, auf der diese Säulen stehen, wird durch einen in ihrer Mitte befindlichen Zapfen auf die Holzscheibe drehbar aufgesetzt. Ihre hintere Hälfte hat einen an der rechten Seite abgeschrägten Spalt. Diese rechte Seite liegt in der Visierebene, sie

stellt ein Lineal dar, an welcher die Wolkenrichtung von der Drehachse aus eingezeichnet werden kann. Dann trägt sie eine Teilung, an der die relative horizontale Entfernung angegeben werden kann. Bezeichnet man wieder mit H = 1 km die Wolkenhöhe, R den relativen Abstand in Kilometern, h cm die Höhe des festen Visiers, x cm die des beweglichen und l cm den Horizontalabstand dieser beiden, so ist

$$x = h - \frac{1}{R} l.$$

Es ist $h = 60$ cm, $l = 50$ cm und sonach wird für

R = 5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	km
x = 500	550	567	575	580	583	586	588	589	590	mm.

Eine wirkliche Messung wird also höchstens bis zu $R = 10$ km, welches einem Höhenwinkel von 6° entspricht, möglich sein. Die Winkel kann man zwar genauer messen, es hat dies aber nur bei scharf einstellbaren Objekten einen Zweck.

Die Wärmestrahlung der Sonne.

Die Bestrahlung horizontaler ebener Flächen.

(„Der Sonnenschein“ S. 4 bis 8.)

In meiner vor 20 Jahren erschienenen Schrift: „Der Sonnenschein“ (Abhandlungen des K. S. met. Inst. Hft 4) habe ich zuerst auseinandergesetzt, wie man die Wirkung der die Erde treffenden und erwärmenden Sonnenstrahlen berechnen kann. Ich nahm nach den damaligen Anschauungen an, daß die Wärmemenge, welche die Sonne einem ihr senkrecht entgegengesetzten Quadratmeter in einer Stunde zustrahlen kann, 1,8 Tonnenkalorien beträgt. Um die Bedeutung dieser Zahl klar zu machen, nahm ich an, daß die Sonnenstrahlen senkrecht auf ein Eislager von 0° C fallen und das Eis schmelzen. Man findet, daß sie in 1 Stunde eine Wasserschicht von 25 cm bilden, also in 4 Stunden die Eisdecke um 1 m vermindern könnten. Denkt man sich aber, daß die senkrecht in Wasser eindringenden Sonnenstrahlen das Wasser in Dampf überführen, so kann in 1 Stunde eine Wasserschicht von 3 mm Höhe verdampft werden. Dringen die Sonnenstrahlen senkrecht bis zu 1 m Tiefe in Wasser oder Erdreich ein und verbreiten sie sich gleichmäßig in dieser Schicht, so wird in 1 Stunde Wasser um 1,8° C, trockener Erdboden um 5,1°, nasser Erdboden um 2,1° erwärmt.

Die Sonnenstrahlen können nur in der Nähe des Äquators zeitweise senkrecht auf die Erde niederstrahlen, bei uns hat die Sonne stets einen gewissen Abstand ζ vom Zenith, die Zenithdistanz = 90° - Sonnenhöhe. Um Mittag fällt die durch die Sonne und den Zenith gelegte vertikale Ebene mit dem Meridian des Ortes zusammen. Nachmittags bildet diese Ebene mit dem Meridian einen Winkel α , das Azimut der Sonne, welcher von der Südseite des Meridians in der Richtung des Uhrzeigers gerechnet werden soll. Man kann die Stellung der Sonne aus der Zeit berechnen und hat dazu die folgenden Formeln

$$\cos \zeta = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\cos \delta \sin \tau}{\sin \varphi \cos \delta \cos \tau - \cos \varphi \sin \delta}$$

Hierin sind φ die geographische Breite des Beobachtungsortes und δ die Deklination der Sonne. Die erstere findet man aus den Landkarten, die letztere aus den astronomischen Hilfsbüchern. Empfehlenswert sind das nautische Jahrbuch und der sächsische Normalkalender (Dresden, C. Heinrich, Preis 1 Mark). τ ist der Stundenwinkel, wenn er in Bogengraden ausgedrückt wird, oder die wahre Sonnenzeit bei Angabe in Stunden und Minuten. Unsere

Uhren zeigen im Winter mitteleuropäische Zeit (M. E. Z.), im Sommer osteuropäische Zeit (O. E. Z.). Man muß zuerst die „mittlere Ortszeit“ berechnen, was dadurch geschieht, daß der in Zeit ausgedrückte Abstand des Ortes von 15° im Winter und 30° im Sommer geographischer Länge abgezogen wird. In Dresden gehen die öffentlichen Uhren 5^m 4^s beziehentlich 1^h 5^m 4^s gegen die nach mittlerer Ortszeit gestellten Uhren vor. Zur Ableitung der wahren Sonnenzeit aus der m. O. Z. dienen dann die Zahlen unter: „Mittlere Zeit im wahren Mittag“. Findet man für diese z. B. 12^h 15^m, so geht die m. O. Z. um 15^m der wahren Sonne vor, man hat also 15^m von der m. O. Z. abzuziehen. Eine Uhr, welche wahre Sonnenzeit angeben soll, wird sonach um 15^m + 5^m 4^s = 20^m 4^s resp. 1^h 20^m 4^s hinter der öffentlichen Uhr zurückbleiben müssen. Die Verwandlung der Uhrzeit läßt sich nicht umgehen, dagegen gibt es Tabellen, denen man mit τ , φ und δ die Werte von ζ und α entnehmen kann. Eine derartige Tabelle habe ich in der Vorarbeit zum Jahrbuch 1903 veröffentlicht.

Die von der Sonne in der Zeiteinheit normal auf die Flächeneinheit eingestrahlte Wärmemenge heißt die Solarkonstante A . Sind diese Einheiten die Stunde und der Quadratmeter, so ist $A = 1,8$ Tonnen-Kalorien (TK, Wärmemenge, welche 1 cbm Wasser um 1° C erwärmt). Wählt man Minute und Quadratcentimeter, so ist $A = 3$ Gramm-Kalorien (GK).

Wenn die Sonnenstrahlen mit der Normalen auf einer Ebene den Einfallswinkel i bilden, so ist die in der Zeiteinheit auf die Flächeneinheit auftreffende Wärmemenge

$$J = A \cdot \cos i.$$

Wenn die bestrahlte Fläche eine horizontale Ebene ist, so ist

$$i = \zeta \quad J = A \cdot \cos \zeta = 1,8 (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau) \frac{\text{TK}}{\text{qm}}$$

Diese Formel setzt aber voraus, daß sich ζ eine Stunde lang nicht ändert, was nur in der Zeit von 11^h 30^m bis 12^h 30^m angenähert der Fall ist.

Will man die Wärmemenge berechnen, die in der Zeit h_1 bis h_2 Stunden zu denen die Stundenwinkel τ_1 und τ_2 gehören, auf 1 qm fällt, so hat man die Formel

$$J = 1,8 (h_2 - h_1) \sin \varphi \sin \delta + 6,875 \cos \varphi \cos \delta (\sin \tau_2 - \sin \tau_1) \text{TK}$$

Die Bestrahlung geneigter ebener Flächen.

(„Der Sonnenschein“ S. 8 bis 10.)

Die Lage einer geneigten Ebene kann man durch den Winkel β , welchen ein auf ihr errichtetes Lot mit der Vertikalen und den Winkel α , welchen die durch die Vertikale und das Lot gelegte Ebene mit der Südseite des Meridians bildet, bestimmen.

β ist dann die Zenithdistanz des Lotes und α das Azimut der Vertikalebene, in der das Lot liegt. ζ und a sollen wieder Zenithdistanz und Azimut der Sonne sein. Dann ist der Einfallswinkel i der Winkel zwischen dem Lot und der Richtung von seinem Fußpunkt nach der Sonne und kann berechnet werden nach der Formel

$$\begin{aligned} \cos i &= \cos \beta \cos \zeta + \sin \beta \sin \zeta \cos (\alpha - a) \\ &= K_1 \sin \delta + K_2 \cos \delta \cos \tau + K_3 \cos \delta \sin \tau. \end{aligned}$$

worin

$$\begin{aligned} K_1 &= \sin \varphi \cos \beta - \cos \varphi \sin \beta \cos \alpha \\ K_2 &= \cos \varphi \cos \beta + \sin \varphi \sin \beta \cos \alpha \\ K_3 &= \sin \beta \sin \alpha \end{aligned}$$

sind.

Die Größen K sind für eine gegebene Fläche konstant.

Die in der Zeiteinheit auf die Flächeneinheit auffallende Wärmemenge ist dann

$$J = A \cdot \cos i.$$

Wird diese Fläche während der Zeit h_1 bis h_2 Stunden bestrahlt, so erhält 1 qm die Wärmemenge

$$\begin{aligned} J &= 1,8 K_1 (h_2 - h_1) \sin \delta + 6,875 K_2 \cos \delta (\sin \tau_2 - \sin \tau_1) \\ &\quad - 6,875 K_3 \cos \delta (\cos \tau_2 - \cos \tau_1) \text{TK}. \end{aligned}$$

Der Einfluß der Lage ist sehr bedeutend, wie sich dies aus der nachstehenden Tabelle ergibt.

$\varphi = 51^\circ \quad \delta = 23^\circ 28' \quad \tau = 30^\circ$

Richtung	p = 1			p = 0.6		
	$\beta = 0^\circ$	$\beta = 30^\circ$	$\beta = 60^\circ$	$\beta = 0$	$\beta = 30^\circ$	$\beta = 60$
S	1.46	1.60	1.31	0.78	0.85	0.71
SW	1.46	1.79	1.64	0.78	0.96	0.89
W	1.46	1.68	1.45	0.78	0.89	0.79
NW	1.46	1.33	0.84	0.78	0.71	0.45
N	1.46	0.94	0.15	0.78	0.50	0.08
NO	1.46	0.75	0.00	0.78	0.40	0.00
O	1.46	0.85	0.11	0.78	0.46	0.01
SO	1.46	1.21	0.63	0.78	0.65	0.34
S	1.46	1.60	1.31	0.78	0.85	0.71
Maximum	1.80	1.80	1.80	0.96	0.96	0.96

Ich habe die Winkel $\beta = 0, 30^\circ$ und 60° angenommen und die Abweichungen nach den 8 Hauptrichtungen der Windrose. Das Feld soll unter 51° Breite liegen und es sind die während einer Stunde auffallenden Wärmemengen nachmittags 2 Uhr, zur Zeit der größten positiven Deklination der Sonne, berechnet worden, natürlich unter der Voraussetzung, daß die Sonne eine Stunde lang sich nicht bewegt.

Zunächst sollen nur die unter $p=1$ stehenden Zahlen betrachtet werden. Zu beachten ist, daß J höchstens gleich $A = 1.8$ TK werden kann. Ist $\beta = 0$, so ist keine Neigung vorhanden, es ergibt sich $J = 1.46$ TK. Bei $\beta = 30^\circ$ empfängt die nach SW geneigte Fläche 1.79 TK, die Sonne steht fast senkrecht über derselben. Die geringste Wärmemenge, aber immer noch 0.75 TK, erhält die nach NO abfallende Fläche. Bei $\beta = 60^\circ$ wird diese Fläche von den Sonnenstrahlen nicht getroffen, sie kann nur diffuse Strahlen vom Himmelsgewölbe erhalten.

Die Abschwächung der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre.

(„Der Sonnenschein“ S. 10 ff.)

Eine Abschwächung der Sonnenstrahlung findet durch Reflexion, Zerstreuung und Absorption in der Atmosphäre statt. Steht die Sonne im Zenith, ist die Atmosphäre vollständig frei von Wolken, Nebel, Dunst usw., so gelangt an die Erdoberfläche der Bruchteil p von A und es soll p als die Durchlässigkeit bezeichnet werden. Als Ursache des Fehlbetrags wird man die von den Sonnenstrahlen durchsetzte Masse an Luft, Wasserdampf und anderen Beimengungen zu betrachten haben. Diese ist um so größer, je mehr die Sonne vom Zenith entfernt ist und wird in Zusammenhang mit der Länge des Weges z stehen, den ein Sonnenstrahl zu durchdringen hat. Nach dem Bouguersehen Gesetz schreibt man

$$J = A \cdot \cos \zeta \cdot p^z - A \cdot \cos \zeta \cdot p^{\sec \zeta}$$

als die meist ausreichende Formel für die Flächen- und Zeiteinheit bei dem Auftreffen der Sonnenstrahlen auf horizontale Ebenen. Für geneigte Ebenen wird aber

$$J = A \cdot \cos i \cdot p^{\sec \zeta}$$

Über die Größen A und p herrscht noch große Unklarheit. Früher nahm man fast allgemein $A = 1.8$ TK/h · m² oder 3 GK/min. cm² und $p = 0.6$ an. Neuerdings erscheinen vielfach die Zahlen

$$A = 2 \text{ GK/min. cm}^2 \quad \text{und} \quad p = 0.8.$$

Mit den älteren Zahlen habe ich den Einfluß der Atmosphäre berechnet. Setzt man zunächst vollständig wolkenlose Luft voraus, so geben die Zahlen

unter $p = 0.6$ in der vorstehenden Tabelle die auf das Feld wirklich gelangende stündliche Wärmemenge an. Bei $\beta = 0$ vermindert sich diese Menge von 1.46 auf 0.78 TK also fast genau auf die Hälfte der möglichen Zustrahlung. Als Maximum der Strahlung bei $i = 0$ ist 0.96 anzunehmen.

Zu der Abschwächung durch die reine Atmosphäre tritt noch die durch Wolken, Nebel und Dunst. Diese kann man durch Verwendung der meteorologischen Terminbeobachtungen und der Registrierung der Sonnenscheindauer einigermaßen in Rechnung ziehen. Das habe ich vor 20 Jahren mit den Beobachtungen in Chemnitz versucht und dabei die Zahlen in den drei ersten Spalten der nachstehenden Tabelle erhalten.

Zuerst erscheinen die Wärmesummen, welche ein horizontaler Quadratmeter in Chemnitz in den Monaten und im Jahr bei voller Durchlässigkeit der Atmosphäre ($p = 1$) erhalten würde. Die größten Mengen würden die Monate Juni und Juli erhalten, die Jahressumme würde 3300 TK übersteigen. Die Abschwächung durch die Atmosphäre allein ist bedeutend; sollte ein Jahr vollständig frei von Wolken, Nebel, Dunst verlaufen, so würde nur etwas mehr als ein Drittel der möglichen Menge zur Erdoberfläche herabgelangen. Die Trübungen der Atmosphäre vermindern diese Menge auf rund ein Fünftel der möglichen Strahlung.

Zum Vergleich wurden noch die Ergebnisse für Potsdam, Washington, Warschau und Stockholm beigefügt. Bei diesen sind wirkliche Messungen der Sonnenstrahlung verwendet worden, während meine Rechnung nur auf der Annahme $A = 1.8$ TK und $p = 0.6$ beruht.

	Mögliche Strahlungsmengen		Wirkliche Strahlungsmengen nach den Beobachtungen in						
	p = 1	p = 0.6	Chemnitz	Potsdam			Washington	Warschau	Stockholm
				1909	1910	1911			
Januar . . .	93.0	12.7	3.0	6.6	4.0	5.0	27.1	4.7	3.8
Februar . . .	137.2	30.8	9.5	11.8	10.4	13.2	44.4	7.6	8.0
März	251.2	85.3	32.4	31.6	40.0	30.4	60.1	23.1	25.9
April	354.0	144.3	70.7	63.0	66.9	64.8	85.8	37.0	59.3
Mai	452.6	204.6	102.3	98.3	88.4	88.0	100.1	82.4	97.0
Juni	474.0	214.5	122.3	82.2	106.8	97.5	106.8	83.8	120.8
Juli	474.3	217.6	115.2	63.9	65.1	106.0	111.9	91.0	111.3
August	399.9	170.5	95.5	75.3	64.2	99.8	92.5	72.1	71.8
September . .	279.0	102.9	51.5	39.9	40.1	45.0	80.9	47.9	41.1
Oktober	204.6	59.8	21.5	30.4	29.1	24.2	58.2	18.4	15.3
November . . .	120.0	24.9	10.2	5.4	5.7	7.2	35.9	3.8	3.1
Dezember . . .	80.6	8.4	2.1	3.7	3.1	3.1	28.6	1.6	1.0
Jahr	3323.4	1276.3	636.2	512.1	523.8	584.2	832.3	473.4	558.4

Ermittlung der Masse atmosphärischer Luft in einer Säule von 1 qm Querschnitt.

Diese Rechnungen sind in dem „Sonnenschein“ S. 40 bis 48 ausführlich behandelt worden. Hier gebe ich sie in etwas anderer Form und abgekürzt wieder. In der Figur links oben auf Bild 27 ist die Erde mit der umgebenden

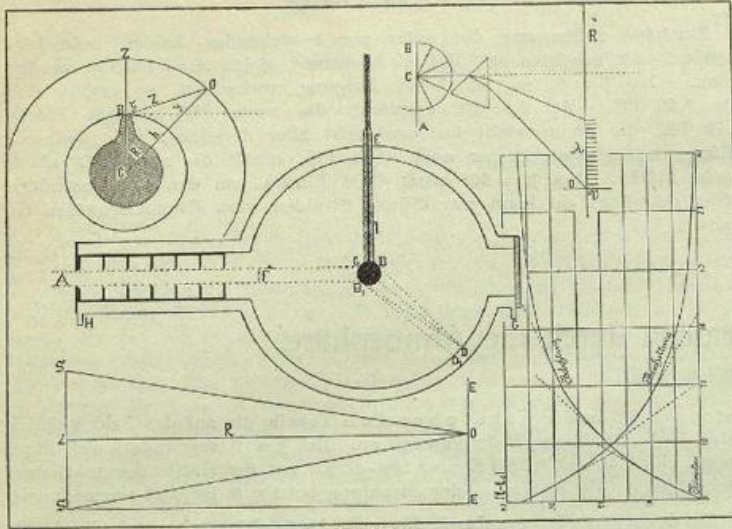


Bild 27

Atmosphäre dargestellt worden. In der Höhe h über der Erdoberfläche befindet sich der Beobachter und sieht nach der Sonne in der Richtung B O. An der Erdoberfläche ist b_0 der Barometerstand und T_0 die absolute Temperatur. In der Höhe h sollen diese Größen b_h und T_h und in der Höhe $(h + y)$ b und T sein. Mit σ wird das spezifische Gewicht des Quecksilbers bezeichnet und der Barometerstand wird in Millimetern ausgedrückt. Wenn man dann von der Verminderung der Schwerkraft mit der Höhe absieht und mit M die Masse einer vertikalen Luftsäule von 1 qm Querschnitt bezeichnet, so ist

1) $M_0 = \sigma b_0$ $M_h = \sigma b_h$ $M = \sigma b$ Kilogramme.

Für die Barometerstände gelten die folgenden Formeln. Es wird gesetzt

2) $T_1 = \frac{1}{2}(T_0 + T_h)$ $T_2 = \frac{1}{2}(T_h + T)$ $P = 29.27$ (Luftkonstante)

$K_1 = \frac{\text{Mod}}{P T_1}$ $K_2 = \frac{\text{Mod}}{P T_2}$ $\text{Mod} = 0.43429$

$\rho_1 = \frac{1}{P T_1}$ $\rho_2 = \frac{1}{P T_2}$ $\rho = \frac{1}{P T}$

Dann ist

3) $0 = \log b_h - \log b_0 + K_1 h$
 $0 = \log b - \log b_h + K_2 y$
 $b = b_h e^{-\rho_2 y}$

Wird mit γ das Gewicht von 1 cbm Luft in Kilogrammen bezeichnet, so ist in der Höhe $h + y$

4)
$$\gamma = \frac{b}{R T} = \frac{\sigma b}{P T} = \sigma \rho b_h e^{-\rho_2 y} = M_h \rho e^{-\rho_2 y}$$

$$\left(R = \frac{P}{\sigma} = 2.153 \right)$$

Es handelt sich nun darum, die Masse M_z in der Luftsäule von B über O bis zur Grenze der Atmosphäre zu ermitteln.

Denkt man sich in O eine Platte von dz Länge abgeschnitten, so ist deren Masse

5) $d M_z = \gamma dz$ und $M_z = \int_0^z \gamma dz$

Da h als sehr klein gegen den Radius der Erde und auch klein gegen z angenommen werden kann, behält der auf Seite 41 meiner erwähnten Abhandlung abgeleitete Ausdruck (Nr. 226)

6) $y = \cos \zeta \cdot z + 785.10^{-10} \sin^2 \zeta \cdot z^2$

seine Gültigkeit. Es wird also

7) $\rho_2 y = \rho_2 \cos \zeta \cdot z + 785.10^{-10} \rho_2 \sin^2 \zeta \cdot z^2 = \alpha z + \beta z^2$
 $d M_z = M_h \rho \cdot e^{-\alpha z - \beta z^2} dz$

Um diesen Ausdruck integrieren zu können, setzt man

8) $\alpha z = \rho_2 \cos \zeta \cdot x$ $\lambda = \frac{\beta}{\alpha^2} = 23.10^{-7} T_2 \text{tg}^2 \zeta$

und erhält

9) $d M_z = M_h \frac{T_2}{T} \sec \zeta \cdot e^{-x - \lambda x^2} dx$
 $M_z = M_h \frac{T_2}{T} \sec \zeta \cdot S$

$S = \int_0^{\infty} e^{-x - \lambda x^2} dx = 1 - 2\lambda + 12\lambda^2 - 120\lambda^3 + 1680\lambda^4 - 30240\lambda^5 + \dots$

Diese Formeln versagen für $\zeta = 90^\circ$, da dann $\text{tg} \zeta = \infty$ wird. Man muß deshalb auf die Formel 7 zurückgreifen, die in die Form

$d M_z = M_h \rho \cdot e^{-\beta z^2} dz$ $\beta = 785.10^{-10} \rho_2$

übergeht. Man setzt

$\beta z^2 = x^2$ $\frac{\rho_2}{\sqrt{\beta}} = \frac{660}{T} \sqrt{T_2}$ $\int_0^{\infty} e^{-x^2} dx = \frac{1}{2} \sqrt{\pi}$

und erhält

10) $M_z = 585 M_h \frac{\sqrt{T_2}}{T}$ für $\zeta = 90^\circ$.

Ermittlung des Gewichts des in einer Luftsäule von 1 qm Querschnitt enthaltenen Wasserdampfes.

Diese Aufgabe ist sehr schwer und kaum mit einiger Sicherheit lösbar. Ich habe schon an mehreren Stellen darauf hingewiesen, daß in unseren Meßmethoden irgend welche schwache Seite vorhanden sein muß. Die Feuchtigkeit nimmt zu rasch mit der Höhe ab. Man kann vermuten, daß mehr Wasser vorhanden ist, als die Instrumente angeben und dann wahrscheinlich in flüssiger Form an die Staubkerne gebunden ist. Dann läßt sich auch weiter vermuten, daß dies auf die Absorptionsvorgänge einen Einfluß ausübt und vielleicht manche der jetzt auftretenden Unklarheiten bedingt. Vorläufig sind wir noch auf die Messungen im Luftballon und deren in den Lehrbüchern sich vorfindende Ergebnisse angewiesen. Danach wird man die von Süring aufgestellte Formel über die Abnahme der Dampfspannung mit der Höhe immer noch zugrunde legen müssen. Diese ist

11) $0 = \log s_h - \log s_0 + 16.10^{-5} h + 8.10^{-9} h^2$
 $0 = \ln s_h - \ln s_0 + 38.10^{-5} h + 19.10^{-9} h^2$

worin s_0 die Dampfspannung in Millimetern Quecksilbersäule am Meeresniveau, s_h die in der Höhe h Meter über demselben bedeuten. Wenn man nun weiter annimmt, daß s das Gewicht des in einem Kubikmeter Luft vorhandenen Wasserdampfes in Gramm an gibt, so wird die Formel

12) $\gamma = 10^{-3} s_h = 10^{-3} s_0 e^{-0.0004 h}$ kg/cbm

das Gewicht des in einem Kubikmeter Luft in der Höhe h enthaltenen Wasserdampfes in Kilogrammen genügend genau darstellen. In der Höhe $h + y$ wird man dann erhalten

12 a) $\gamma = 10^{-3} s_h e^{-0.0004 y}$

Ist G_z das Gewicht des in der schrägen Luftsäule B O enthaltenen Wasserdampfes, so findet man zuerst

13) $dG_z = \gamma dz \quad G_z = \int_0^z \gamma dz$

Der weitere Rechengang gestaltet sich genau so wie für die Luft und führt zu folgenden Ergebnissen:

14) $G_z = \frac{5}{2} s_h \sec \zeta \cdot S$
 $G_z = 155 s_h \quad \text{für } \zeta = 90^\circ$
 $S = \int_0^{\infty} e^{-x - \lambda x^2} dx \quad \lambda = 2.10^{-4} \text{tg}^2 \zeta$

Anwendung der Massenformeln.

Für die atmosphärische Luft kommen bei der praktischen Anwendung die Formeln in Frage

$M_h = 13.6 b_h \quad 0 = \log b_h - \log b_0 + K_1 h$
 $T_1 = \frac{T_0 + T_h}{2} \quad T_2 = \frac{T_h + T_\infty}{2} \quad \lambda = 23.10^{-7} T_2 (g^2 \zeta)$
 $M_z = M_h \frac{T_2}{T} \sec \zeta \cdot S \quad \text{oder} = 585 M_h \frac{\sqrt{T_2}}{T} \quad \text{für } (\zeta = 90^\circ)$

Die Faktoren K kann man mit dem Argument T = 273 der nachstehenden Tabelle entnehmen.

Werte für K = (67.35 T)⁻¹ in Einheiten der fünften Dezimale des Logarithmus.

	- 20°		- 10°		0°		+ 0°		+ 10°		+ 20°	
	k	d	k	d	k	d	k	d	k	d	k	d
0	5.869	24	5.646	22	5.439	20	5.439	20	5.246	18	5.067	17
1	.892	23	.668	22	.459	20	.419	20	.228	18	.050	17
2	.916	24	.689	22	.479	20	.399	20	.210	18	.033	17
3	.939	23	.711	22	.499	20	.380	19	.192	18	.016	17
4	.963	24	.733	22	.520	20	.360	20	.174	18	4.999	17
5	.987	24	.755	22	.540	20	.341	19	.156	18	.982	17
6	6.011	24	.777	22	.561	21	.322	19	.138	18	.965	17
7	.035	24	.800	23	.582	21	.303	19	.120	18	.949	16
8	.060	25	.823	23	.603	21	.284	19	.102	18		
9	.085	25	.846	23	.624	21	.265	19	.084	18		

Die Temperaturen T₀ und T_h ergeben die Beobachtungen, es wird aber schwer, für T_∞ einen plausiblen Wert zu finden. Da aber es auf einen genauen Wert von T₂ nicht ankommt, wird man

$T_2 = 250^\circ$

mit genügender Sicherheit annehmen dürfen, was

$\lambda = 6.10^{-4} \text{tg}^2 \zeta$

ergibt und die Ableitung der Werte des Integrales S gestattet. Wie sich diese Sache gestaltet, ersieht man aus der folgenden Tabelle.

ζ	Luft		Wasserdampf		sec ζ	S sec ζ		f(ζ) = $\frac{5}{2}$ S sec ζ
	λ	S	λ	S		Luft	Wasser	
0	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.000	1.00	1.00	2.50
10	0	1.0000	0	1.0000	1.015	1.01	1.01	2.53
20	1	0.9998	0	0.9999	1.064	1.06	1.06	2.65
30	2	9994	0	9999	1.155	1.15	1.15	2.88
40	4	9992	1	9997	1.308	1.30	1.31	3.28
50	9	9982	3	9994	1.555	1.55	1.55	3.89
60	18	9964	6	9988	2.000	1.99	2.00	5.00
70	45	9912	15	9970	2.924	2.90	2.92	7.30
80	193	9651	64	9876	5.747	5.55	5.70	14.25
81	239	9577	80	9848	6.410	6.13	6.30	15.75
82	303	9476	101	9809	7.194	6.82	7.05	17.63
83	398	9299	133	9752	8.197	7.63	8.00	20.00
84	542	9080	181	9671	9.500	8.63	9.19	23.00
85	784	(8328)	261	9543	11.5	(10.0)	11.0	27.5
86	1255	(2505)	418	9298	14.3	(12.2)	13.3	33.3
87	2188		729	(8563)	19.1	(15.2)		(40.0)
88	4920		1640		28.7	(19.5)		(49.5)
89	1.9680		6560		57.1	(25.0)		(65.0)
90	∞		∞		∞	37		155

In den Formeln für M_z kommt noch die Temperatur T im Ort O vor. Diese ist eigentlich eine Funktion von z und hätte bei der Integration nicht vor das Integralzeichen gesetzt werden dürfen. Man kann T aber als eine mittlere Temperatur auffassen, die nur wenig von T₂ abweichen wird. So nach erhält man die einfacheren Formeln

$M_z = M_h \sec \zeta S = \frac{585}{\sqrt{T_2}} M_h \text{ für } (\zeta = 90^\circ) = 37 M_h \text{ für } (\zeta = 90^\circ \text{ u. } T_2 = 250^\circ)$

Es ist besonders darauf hinzuweisen, daß in diesen Formeln der bedeutende Einfluß der Höhe des Beobachtungsortes zum Ausdruck kommt. Wenn Beobachtungen in den möglichen Höhenlagen angestellt werden, in denen die mittleren Barometerstände 760 und 500 mm sind, so ist

$M_0 = 13.6 \times 760 = 10\,336 \text{ kg} \quad M_z = 381\,000 \text{ kg für } \zeta = 90^\circ$
 $M_h = 13.6 \times 500 = 6\,800 \text{ ,,} \quad = 261\,000 \text{ ,,} \quad \zeta = 90^\circ$

Im Meeresniveau ist die absorbierende Masse das 1.5fache derjenigen in Höhen von rund 3600 m.

Aus der Tabelle geht hervor, daß bis zu 60° Zenithdistanz die einfache Formel M_z = M_h sec ζ ausreicht. Bis zu ζ = 84° reichen 6 Glieder in der Formel 9 für S aus, für größere Winkel würde man noch mehr Gliederpaare hinzunehmen müssen. Es erscheint dies jedoch nicht nötig, da für ζ = 90° ein geschlossener Ausdruck hergeleitet werden konnte.

Bei dem Wasserdampf ist λ etwas kleiner, die 6 Glieder der Reihe für S reichen bis zu nahe ζ = 87°.

Sollte die Annahme richtig sein, daß die Schwächung der Sonnenstrahlung von der Masse der in einer Einheitssäule vorhandenen trockenen Luft und Wasserdampf abhängt, so wird zuerst die Formel

$J = A \cdot p_1^{m_1} \cdot p_2^{m_2}$

in Frage kommen können. m₁ ist die Masse trockener Luft und p₁ die Durchlässigkeit für die Einheit derselben, p₂ und m₂ sind dann die entsprechenden Größen für den Wasserdampf. Man kann diese Formel auch schreiben

15) $\log J = \log A + m_1 \log p_1 + m_2 \log p_2$

und es wird diese die Bedingungsgleichung zur Ableitung der Konstanten A, p₁ und p₂ aus einer genügenden Anzahl passend angestellter Beobachtungen darstellen.

Die Größe M_z stellt m₁ nicht genau vor. M_h = S b_h ist die Masse der in einer vertikalen Einheitssäule enthaltenen trockenen Luft und Wasserdampf. Die Trennung dieser beiden ist in der Abhandlung „Der Sonnenschein“ streng durchgeführt worden, ergab aber eine verwickelte Rechnung, die nicht nötig ist. Da die Wasserdampfmasse sehr klein gegenüber der der trockenen Luft ist, kann man unbedenklich m₁ = M_z setzen und erhält

$m_1 = M_z = M_h S \sec \zeta = M_{760} \frac{b_h}{760} S \sec \zeta = \frac{b_h}{760} \cdot S \sec \zeta$

wenn

$M_{760} = 10336 \text{ Kgr.} = \text{Eins}$

gesetzt wird. Für ζ = 90° wird dann

$m_1 = 37 \cdot \frac{b_h}{760} = 0.0482 b_h$

Bei sehr tief gelegenen Stationen kann man b_h/760 = 1 setzen, so daß dann m₁ = S sec ζ wird und in den meisten Fällen m₁ = sec ζ ausreichen dürfte.

Für m₂ erhält man

$m_2 = G_z = s_h \left(\frac{5}{2} S \sec \zeta \right) = f(\zeta) s_h$

Die Werte der f(ζ) sind in der letzten Tabelle eingestellt worden. Die eingeklammerten Zahlen sind interpoliert worden. Bei der Zeichnung der Interpolationskurve wurde der Verlauf der Kurve für sec ζ besonders beachtet. Etwa 7 Jahre nach meiner Arbeit hat A. Bemporad dieselbe Sache in fast gleicher Weise behandelt (Reale accademia dei Lincei, Anno CCCI, 1904, Roma 1905). Die dort aufgestellten Tabellen für trockene Luft ergeben für h = 250 m bis zu ζ = 88° genau dieselben Werte, wie meine Formel. Die Zahlen in den Publicationen des Observatoriums in Potsdam stimmen genau mit denen überein, welche meine Kurve ergibt. Für ζ = 89° sind die durch Bemporads Reihen gefundenen Werte viel zu groß und für 90° versagen diese vollständig.

Die Solarkonstante und die Temperatur der Sonne.

Strahlung eines vollkommen schwarzen Körpers.

In der Figur oben rechts des Bildes 27 soll A B die ebene Oberfläche eines vollkommen schwarzen Körpers von der absoluten Temperatur T sein. Bei C befindet sich 1 qcm, welcher die Wärme nach allen Richtungen derart ausstrahlt, daß die Menge in der Richtung der Normalen am größten ist und dann mit dem Cosinus des Winkels eines Strahles mit der Normalen abnimmt. Die Strahlung soll geradlinig polarisiert sein und in 1 Sekunde in der Richtung der Normalen S Erg betragen. Wenn man diesen Normal-Einheitsstrahl auf ein vollständig durchlässiges Prisma fallen läßt, so entsteht auf dem Schirm V R ein Spektrum. Von dem Schirm wird die auftreffende Energie wieder ausgestrahlt werden, das Spektrum tritt dann an die Stelle des 1 qcm in C. Das Spektrum wird als vollständig kontinuierlich zu betrachten sein, also alle Wellenlängen von $\lambda = 0$ cm bis $\lambda = \infty$ enthalten, und somit unendlich lang sein. Man kann sich nun das Spektrum in eine sehr große Zahl sehr kleiner Strecken $d\lambda_1, d\lambda_2, d\lambda_3, \dots$ zerlegt denken. Die auf diese fallenden Energiemengen sind dann dS_1, dS_2, dS_3, \dots und man wird als

$$E_1 = \frac{dS_1}{d\lambda_1} \quad E_2 = \frac{dS_2}{d\lambda_2} \quad E_3 = \frac{dS_3}{d\lambda_3} \dots$$

die auf die Einheit der betreffenden Wellenlängenbezirke fallenden Energiemengen betrachten können. Es ist dann

$$S = \sum dS = \sum E d\lambda = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda.$$

Die Größe E_λ wird als die Intensität eines einfarbigen, geradlinig polarisierten Strahles von der Wellenlänge λ cm, welcher von 1 qcm eines Körpers von der absoluten Temperatur T in einer Sekunde senkrecht zur Oberfläche in das Vakuum ausgesandt wird, bezeichnet. Planck hat hierfür die Formel gefunden

$$1) \quad E_\lambda = 5892 \cdot 10^{-9} \cdot \lambda^{-5} \cdot (e^{\frac{1.4594}{\lambda T}} - 1)^{-1} \text{ Erg.} \quad \tau = \frac{1.4594}{\lambda T}$$

Die Integration liefert dann

$$2) \quad S = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda = 8433 \cdot 10^{-9} T^4 \text{ Erg/qcm} \cdot \text{sec.}$$

Stefansches Gesetz.

Wenn der Körper unpolarisierte Strahlen aussendet, so ist die Intensität der Strahlung die doppelte, also $2 E_\lambda$. Wird die Strahlung nach allen Richtungen, also innerhalb einer Halbkugel vom Radius 1 betrachtet, so hat man $2 E_\lambda$ noch mit π zu multiplizieren, was also $2\pi E_\lambda$ ergibt.

Wenn man dann noch λ in Mikron statt in Zentimetern ausdrückt und 1 Gramm-Kalorie = $416 \cdot 10^5$ Erg rechnet, so erhält man

$$3) \quad E_\lambda = 8900 \lambda^{-5} (10^{\frac{6341}{\lambda T}} - 1)^{-1} \text{ Gramm-Kalorien} \quad \tau = \frac{6341}{\lambda T}$$

E_λ wird jetzt also die Intensität einfarbiger unpolarisierter Strahlung von der Wellenlänge $\lambda \mu$ sein, welche von 1 qcm eines Körpers von der Temperatur T in einer Sekunde nach allen Richtungen in das Vakuum ausgeht. Die Integration liefert jetzt

$$4) \quad S = 1274 \cdot 10^{-10} T^4 \text{ GK/qcm} \cdot \text{sec nach allen Richtungen}$$

oder = $764 \cdot 10^{-13} T^4$ in der Minute
oder = $459 \cdot 10^{-11} T^4$ in einer Stunde.

Eine Vorstellung über die Werte, welche S erreicht, gestatten die folgenden Zahlen:

Absolute Temperatur	100°	200°	300°	400°			
Celsius-Grade	-173	-73	+27	+127			
Strahlung in 1 Stunde	0.46	7.34	37.18	117.50	Gramm-Kalorien		
Absolute Temperatur	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
Strahlung in 1 Minute	0.08	1.22	6.19	19.56	47.75	99.01	183.44
							Kilogramm-Kalorien.

Das Wiensche Verschiebungsgesetz.

Die Intensität der Strahlung beginnt stets mit $E_\lambda = 0$ bei $\lambda = 0$, steigt dann mit der Wellenlänge an, erreicht bei einer Wellenlänge λ_m ihren größten

Wert E_m und nimmt dann wieder ab. λ_m hängt von T ab. Bei kleinem T liegt es am Roten Ende des Spektrums und verschiebt sich mit steigendem T nach der Seite des Violett. Nach Wien ist

$$5) \quad \lambda_m \cdot T = 2940 \quad \lambda_m \text{ in Mikron}$$

$$6) \quad E_m \cdot T^{-5} = 2841 \cdot 10^{-19} \quad E_m \text{ in Gramm-Kalorien.}$$

Strahlung der Sonne.

In der Figur links unten auf Bild 27 soll S S = 2 r cm der Durchmesser der Sonnenscheibe sein und E E die Erdoberfläche im Abstand O Z = R cm von der Sonnenscheibe. Um O liegt 1 qcm, von dessen Mittelpunkt aus S S unter einem Winkel von $31' 59.26''$ erscheint. Man wird also die Winkel

$$\angle Z O S = \angle E S O = 16 \text{ Bogenminuten}$$

rechnen können.

Bei der Kleinheit dieses Winkels kann man annehmen, daß alle von der Sonnenscheibe ausgehenden und den Quadratcentimeter auf der Erdoberfläche treffenden Strahlen den Einfallswinkel $i = 0$ haben und daß sonach $\cos i = 1$ ist. Ist

$$S = 764 \cdot 10^{-13} T^4 \text{ Gramm-Kalorien}$$

die von 1 qcm der Sonnenoberfläche nach allen Richtungen ausgehende Strahlung während 1 Minute, so ist die normal zur Sonnenscheibe ausgehende Strahlung $S : \pi$. Ist weiter F die Größe der Sonnenscheibe, so wird der Quadratcentimeter auf der Erdoberfläche die Wärmemenge

$$A = \frac{S}{\pi} \cdot \frac{F}{R^2} = \left(\frac{r}{R}\right)^2 \cdot 764 \cdot 10^{-13} T^4$$

erhalten.

Nun ist aber

$$\left(\frac{r}{R}\right)^2 = (\text{arc. } 16')^2 = 216225 \cdot 10^{-10},$$

es ist also

$$A = 1652 \cdot 10^{-18} T^4 \quad T = 4960 \sqrt[4]{A}.$$

A ist die Wärmemenge in Gramm-Kalorien, welche die Sonne einem ihr normal gegenüberstehenden Quadratcentimeter in 1 Minute zustrahlt, also die Solarkonstante und T die (effektive) Temperatur der Sonnenoberfläche, welche zu dieser Strahlung nötig ist. Ich habe schon mehrfach erwähnt, daß über die Größe der Solarkonstanten noch wenig Klarheit herrscht. Die Angaben der verschiedenen Forscher gehen über 4 und bleiben unter 2. Nimmt man für A die Werte 1, 2, 3 und 4 an, so erhält man zuerst die folgenden Zahlen:

A =	1	2	3	4	Gramm-Kalorien in 1 Minute
T =	4950	5885	6514	7000	absolute Temperatur der Sonne
S =	765	1529	2295	3059	Ausstrahlung von 1 qcm in GK/min
$\lambda_m =$	0.594	0.500	0.452	0.420	Wellenlänge der größten Intensität, Mikron
$E_m =$	845	2007	3334	4775	größte Intensität Gramm-Kalorien

Danach würde die Sonnentemperatur zwischen 5000 und 7000° liegen. Die Erhöhung der Solarkonstanten um eine Einheit würde T um 500° erhöhen, also nur um etwa 8%, so daß man die Frage aufwerfen kann, ob die Verschiedenheit der Angaben über A auf Schwankungen in T wenigstens zum Teil beruhen können. Sehr groß ist aber die Verschiebung des Intensitätsmaximums. $\lambda = 594 \mu$ entspricht der Lage der D-Linie an der Grenze zwischen Gelb und Orange. $\lambda = 500 \mu$ liegt im Grün, $\lambda = 452 \mu$ an der Grenze zwischen Ultramarin- und Cyanblau und $\lambda = 420 \mu$ im Violett.

Mittels der Temperaturen T konnten nun nach Formel 3 die Intensitätskurven berechnet werden. Diese wurden angenähert nach der graphischen Darstellung integriert und dadurch wurden die nachstehenden Zahlen erhalten:

Solarkonstante	Wellenlängenbezirke Mikron	Wärmestrahlung GK/qcm · min				Prozentisches Verhältnis zur Gesamtstrahlung			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Absolute Temperatur		4950	5885	6514	7000	4950	5885	6514	7000
Ultra-Violett	0 — 0.35	23	111	252	439	3.0	7.3	11.0	14.3
Violett	0.35 — 0.45	54	173	313	466	7.1	11.3	13.6	15.2
Blau und Grün	0.45 — 0.55	77	194	322	443	10.0	12.7	14.0	14.5
Gelb	0.55 — 0.65	84	187	280	366	11.0	12.2	12.2	12.0
Rot	0.65 — 0.75	79	158	226	284	10.3	10.3	9.8	9.3
Braun	0.75 — 0.85	70	129	176	217	9.2	8.4	7.7	7.1
Ultra-Rot	> 0.85	378	577	726	844	49.4	37.8	31.7	27.6
Ultra-Violett	0 — 0.35	23	111	252	439	3.0	7.3	11.0	14.3
Alle Farben	0.35 — 0.85	364	841	1317	1776	48.6	54.9	57.3	58.1
Ultra-Rot	> 0.85	378	577	726	844	49.4	37.8	31.7	27.6
Wellenlängenbezirke	0 — 1	472	1097	1762	2448	61.7	71.7	76.7	80.0
	1 — 2	224	339	424	492	29.3	22.2	18.5	16.1
	2 — 3	46	63	73	91	6.0	4.1	3.2	3.0
	3 — 4	15	19	23	24	2.0	1.3	1.0	0.8
	> 4	8	11	13	4	1.0	0.7	0.6	0.1
Gesamtstrahlung	0 — ∞	765	1529	2295	3059	765	1529	2295	3059

Mit diesen Zahlen kann man nun weiter versuchen, die auf der Erdoberfläche ankommenden Wärmemengen zu berechnen. Hierzu ist die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die verschiedenen Wellenlängen nötig. Aus einer Kurve in den Berichten des Mount Weather Observatory leitete ich die in der nachstehenden Tabelle unter p stehenden Zahlen ab. Der vorstehenden Tabelle wurden die Werte J_0 für senkrechten Sonnenstand entnommen und dadurch die Größen $p J_0$ erhalten. Als Ergebnis kann kurz ausgesprochen werden, daß bei $\Lambda = 1$ die Durchlässigkeit für die Gesamtheit der Sonnenstrahlung $p = 0.8$ sein, sich aber bei dem Wachsen von Λ bis zu 4 auf $p = 0.67$ vermindern müßte. Bei $\Lambda = 1$ könnten größere Strahlungswerte als 0.8 GK/qcm · min nicht vorkommen. Bei $\Lambda = 4$ wären aber 2.68 GK möglich.

Wellenlängenbezirk		$\Lambda = 1$		$\Lambda = 2$		$\Lambda = 3$		$\Lambda = 4$	
10 λ	p	J_0	$p J_0$	J_0	$p J_0$	J_0	$p J_0$	J_0	$p J_0$
0 — 3.5	0.06	23	1	111	7	252	15	439	26
3.5 — 4.5	0.49	54	27	173	85	313	153	466	228
4.5 — 5.5	0.70	77	54	194	136	322	225	443	310
5.5 — 6.5	0.77	84	65	187	144	280	216	366	282
6.5 — 7.5	0.84	79	66	158	133	226	190	284	239
7.5 — 8.5	0.87	70	61	129	112	176	153	217	189
> 8.5	0.90	378	340	577	519	726	654	844	760
Summen		765	614	1529	1136	2295	1606	3059	2034
Durchlässigkeit		80 %		74 %		70 %		67 %	
Größter Strahlungswert		0.80		1.48		2.10		2.68	

Sollten alle Grundlagen richtig sein, so würde dies eine hohe Bedeutung für die Meteorologie haben. Bei kleinen Werten der Sonnenstrahlung würden 80 % zur Erde gelangen, der in der Atmosphäre zurückgehaltene und diese erwärmende Teil würde nur klein sein und sich auf die ganze Masse mehr gleichmäßig verteilen. Sollte aber Λ sehr groß sein, so müßten namentlich die oberen Schichten der Atmosphäre viel Wärme erhalten und das würde manche Erscheinungen erklären, über die man sich lange die Köpfe zerbrochen hat, ohne zu einem plausiblen Ergebnis gelangt zu sein.

In Nr. 55 der Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam stellte J. Scheiner auf Seite 72 einige Ergebnisse der Bestimmung der Solarkonstanten zusammen. Diese sind

Pouillet 1.79, Hagen 1.9, Forbes 2.82, Violle 2.59, Crova 2.28 bis 2.37, Langley 2.63 bis 3.51, Savelief 2.86 bis 3.47, Pernter 3.05 bis 3.28.

Fast alle fanden Λ um so größer, in je größerer Höhe die Beobachtungen angestellt worden waren. Im Pamirgebiet, in einer Höhe von 4650 m, soll Stanke-witzsch bei 16° Zenithdistanz und -3°C Temperatur $J = 2.02$ GK/qcm · min erhalten haben. Da bei $\Lambda = 3$ und $p = 0.7$ der größte Strahlungswert ($\zeta = 0$) 2.10 GK sein kann, würde dies für $\Lambda > 3$ sprechen. Scheiner unterscheidet die Strahlungskonstante von der Solarkonstanten. Für die erstere ergibt jede Beobachtungsreihe einen Wert nach dem Gesetz $J = \text{Strahlungskonstante} \times p^m$. Scheiner leitete aus seinen Beobachtungen in Potsdam und auf dem Gerner Grat für diese Konstante 2.02 — 1.95 ab. Nach Laboratoriumsversuchen vermehrte er diesen Wert um 1 % wegen Absorption durch Kohlensäure, 7 % durch Wasser und 1½ % durch Zerstreung des Ultra-Violetts und bekam so

$$\Lambda = 2.29 - 2.22 \text{ GK}$$

Das würde die effektive Sonnentemperatur, d. h. die Temperatur eines vollkommen schwarzen Körpers von demselben Strahlungsvermögen, zu rund 6000° ergeben. Nun wird aber ein Teil der von der Photosphäre ausgehenden Strahlung schon durch die Sonnenatmosphäre absorbiert. Dies führt Scheiner zu dem Ergebnis, daß die mittlere Strahlung der Photosphäre 3.89 GK/qcm · min und deren Temperatur 7065° ist.

Der Amerikaner Kimball leitete in dem Bulletin of the Mount Weather Observatory (Vol. III, 1910) die Solarkonstante in folgender Weise ab. Er hat die Formel entwickelt

$$J = A \left[\frac{(0.93)^{m\delta}}{1 + 0.18 m \sqrt{\delta}} - 0.061 + 0.008 \delta - 0.0028 m s \right]$$

Hierin sind

m: „the Air mass“

δ : „the density of the atmospheric diffusing layer“

s: die Dunstspannung in Millimetern Quecksilbersäule.

Aus den für $m = 2$ ($\zeta = 60^{\circ}$) und $m = 3$ ($\zeta = 70\frac{1}{2}^{\circ}$) durch Beobachtung gefundenen Werten von J werden dann δ und A berechnet.

Die Größe δ unterliegt recht bedeutenden Schwankungen, die mir vorliegenden Zahlen bewegen sich zwischen 0.3 und 1.4.

Wenn man für den Zenithstand der Sonne

$$m = 1 \text{ und } \delta = 1, s = 0$$

einsetzt, erhält man

$$J = 0.78 A, \text{ also } p = 0.78 \quad A = 1.28 J \text{ für } \zeta = 0.$$

Für $m = 0$ muß die Formel $J = A$ ergeben. Man findet aber

$$J = A (1 - 0.061 + 0.008 \delta),$$

was

$$\delta = 7.6$$

erfordern würde.

Sonach würde man mit abnehmender Luftmasse ein starkes Anwachsen von δ voraussetzen müssen, was dann wohl zu ganz anderen Resultaten führen würde.

Ich gehe jetzt auf den Ausdruck

$$J = A \cdot p_1^{m_1} \cdot p_2^{m_2}$$

zurück. Hierin sind p_1 und m_1 Durchlässigkeit und durchstrahlte Masse trockener Luft und p_2 und m_2 dieselben Größen für Wasserdampf. Ich setze

$$p_1 = 10^{\alpha} \quad p_2 = 10^{\beta}$$

und erhalte dann

$$\log J = \log A + m_1 \alpha + m_2 \beta.$$

Es ist aber nach Seite 61

$$m_1 = \frac{b}{760} S_1 \sec \zeta \quad m_2 = \frac{5}{2} s S_2 \sec \zeta,$$

worin S_1 und S_2 bestimmte Integrale und Funktionen von ζ sind, welche nur bei großen Zenithdistanzen wesentlich von 1 abweichen und deshalb hier gleich 1 gesetzt werden können. Sonach ist

$$m_1 \alpha + m_2 \beta = \left[\frac{b}{760} \alpha + \frac{5}{2} s \beta \right] \sec \zeta = \varphi \sec \zeta$$

$$\log J = \log A + \varphi \sec \zeta = \log A + (\log p) \sec \zeta.$$

$$p = 10^\varphi$$

wird die Durchlässigkeit des Gemisches von Luft und Wasserdampf sein. Setzt man $y = \log J$ $x = \sec \zeta$ $\log A = a$, so ist

$$y = a + \varphi x$$

die Gleichung einer geraden Linie. Trägt man die beobachteten y als Ordinaten mit den zugehörigen x als Abszissen auf, so müssen die Punkte sich in einer geraden Linie anordnen, wenn die Beobachtungen dem angenommenen Gesetz folgen, sonst ist die Formel mehr oder weniger falsch. Zu diesen Darstellungen kann man die Logarithmenpapiere von Carl Schleicher & Schüll in Düren, Rheinland, anwenden, sie ersparen das Aufsuchen des zu J gehörigen y . Auf derartigen Papieren sind die 4 Darstellungen auf Bild 28 und 29 hergestellt worden. Zur Verwendung gelangten Messungen von Scheiner am 2. September 1903 in Potsdam und am 11. Juli 1903 auf dem Gerner Grat (3136 m). Weiter wurden aus dem Bericht des Meteorologischen Observatoriums in Potsdam vom Jahre 1912 die Beobachtungen am 7. Oktober 1909 und die auf Seite XXVII stehenden Zahlen verwendet, welche die mittlere Strahlungsintensität J in ihrer Abhängigkeit von der Luftmasse $m \equiv \sec \zeta$ im Juni angeben und Mittel aus vielen Beobachtungen darstellen. In die ersten 3 Punktreihen konnten einigermaßen passende gerade Linien eingezeichnet werden. Diesen wurden dann die Werte für $\sec \zeta = 1$ und $\sec \zeta = 6$ entnommen und nach den Formeln

$$\varphi = \frac{\log J_1 - \log J_6}{1 - 6} \quad \log A = \log J - \varphi \sec \zeta$$

die aus der Lage der Geraden sich ergebenden Werte von φ und A berechnet, A kann man auch mit $m = 0$ der Zeichnung direkt entnehmen. Die Ergebnisse sind folgende:

Station	b	s	J_1	J_6	φ	p	A
Potsdam, Scheiner	759	10.0	1.36	0.318	-0.1262	0.748	1.82
„ Met. Obs.	—	—	1.16	0.510	-0.0714	0.848	1.37
Gerner Grat	524	3.5	1.58	0.640	-0.0785	0.835	1.90

Zur Ableitung von α und β hat man also die Formeln

$$-0.1262 = \frac{759}{760} \alpha + \frac{5}{2} \times 10.0 \beta = 1.00 \alpha + 25 \beta$$

$$-0.0785 = \frac{524}{760} \alpha + \frac{5}{2} \times 3.5 \beta = 0.69 \alpha + 8 \beta,$$

welche ergeben

$$\alpha = -0.1024 \quad p_1 = 0.790 \quad \beta = -0.00095 \quad p_2 = 0.9978.$$

Für Luft ist die Masseneinheit $760 \times 13.6 = 10336$ kg, für Wasserdampf aber 1 kg. Die Durchlässigkeit bezogen auf 1 kg Luft würde

$$z = -0.1024 : 10336 = -0.00001$$

ergeben, so daß nach diesen Ergebnissen die absorbierende Wirkung des Wasserdampfes das 95fache der der Luft sein würde.

In der Darstellung der Junimittel ist es nicht möglich, eine Gerade befriedigend einzuzeichnen, die Verbindung der Punkte gibt entschieden eine nach oben konkave Kurve.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich das auch bei den Scheiner'schen Beobachtungen und fast bei allen Darstellungen, die ich habe machen lassen. Sonach kann unsere Formel nur eine Näherung an die Wahrheit darstellen und die Abweichungen von dieser werden wohl an den beiden Enden der Kurven am größten sein. Man muß sich über den Vorgang klar werden.

Die Beobachtungen an einem Ort können nur bis $\zeta = 0$, also $m_1 = \frac{b}{760}$ und $m_2 = \frac{5}{2} s$ gehen. Sollen beide zu Null werden, so müssen b und s zu Null werden, man muß also den Beobachtungsort vertikal nach oben verlegen. Da können aber sehr verschiedene Gesetze auftreten. Die Verlängerung der Kurven bis zu $m = 0$ wird nach allen möglichen Werten von A möglich sein, die Extrapolation wird also sichere Werte von A nicht geben können. Es wird wohl kein Zufall sein, daß die Beobachtungen in großer Höhe A größer ergeben haben, als die in den Niederungen.

Von Bedeutung dürfte auch die Aussage der Darstellung unten auf Bild 29 sein. In dem Jahrgang 1912 der Potsdamer Beobachtungen wird als wahrscheinlichster Wert $A = 1.925$ GK/min. qem bezeichnet. Mit diesem Wert A können die Intensitätslinien für $p = 0.75$ bis 0.90 angegeben werden. Man sieht, daß bei hohem Sonnenstand die Beobachtungen sich am besten der Kurve für $p = 0.75$ anpassen, aber mit sinkendem Sonnenstand immer mehr der Kurve für $p = 0.90$ parallel verlaufen. Sonach scheint in den obersten Luftschichten die Durchlässigkeit der Luft aus irgend welchen Ursachen sehr klein und wesentlich kleiner als in den unteren Schichten zu sein. Es wird also immer noch möglich sein, daß die alte Annahme $A = 3$ GK/qem. min. und $p = 0.6$ nicht sehr falsch ist.

Die Instrumente zur Bestimmung der Wärmestrahlung.

Die zur Messung der Sonnenstrahlung dienlichen Instrumente werden vielfach als Aktinometer, Pyrheliometer usw. bezeichnet. Sie gründen sich auf verschiedene Prinzipien, von denen hier nur zwei besprochen werden.

Das Angströmsche Kompensations-Pyrheliometer.

Der Hauptteil dieses Instrumentes sind die zwei in Fig. 29 gestrichelten Streifen aus einem Metall, dessen elektrischer Widerstand bei allen Temperaturen gleichbleibt. Deren Anordnung wird so gleich als nur möglich gemacht. Aus Bild 30 ersieht man, wie diese Streifen an einem Rahmen befestigt worden sind. In der Mitte eines jeden derselben ist ein Thermolement eingesetzt, von den Lötstellen gehen also zwei Drähte nach Klemmschrauben. Dann müssen an jedem Streifen Drähte zur Durchführung eines elektrischen Stromes angebracht werden. Hierzu sind wieder zwei Klemmschrauben nötig. An dem Streifenträger sind somit 4 Klemmschrauben, 2 zum Einschalten eines Galvanometers für den thermoelektrischen Strom und 2 für das Ansetzen einer Batterie vorhanden.

Der Streifenträger wird in eine Röhre eingesetzt, welche gestattet, die Streifen den Sonnenstrahlen senkrecht entgegenzustellen. Außer der Batterie und dem Galvanometer sind noch ein Ampèremeter und ein regulierbarer Widerstand nötig. Alle diese Teile sind im Bild 31 zu erkennen, und zwar links das Milliampèremeter von Siemens & Halske, dann der Streifenträger, dann ein Akkumulator, dann das Galvanometer von Siemens & Halske und endlich der Ruhstrat'sche Gleitwiderstand.

Die Wirksamkeit des Instrumentes ist nun folgende. Wenn die beiden Streifen den Sonnenstrahlen ausgesetzt werden und dieselben vollständig absorbieren, so erwärmen sie sich so lange über die Temperatur der Um-

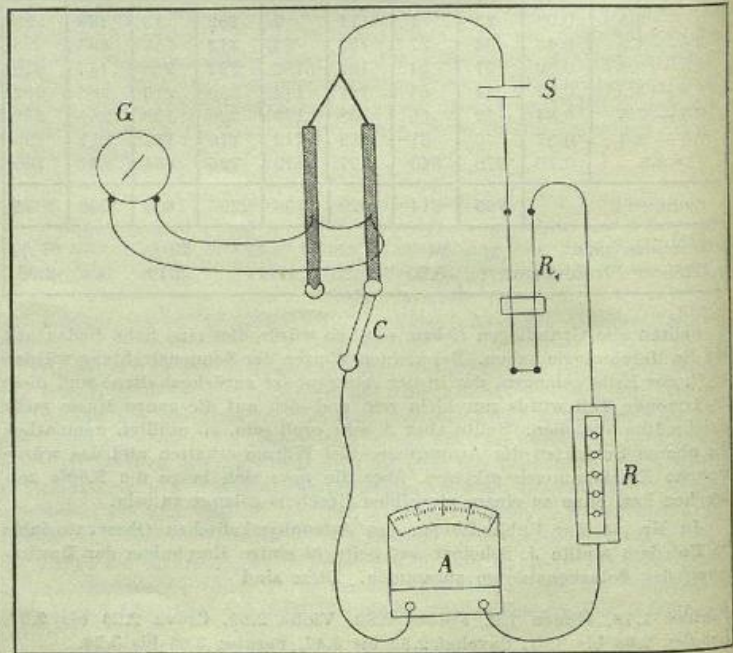


Fig. 29

gebung, bis die Abgabe von Wärme durch Leitung und Strahlung der Ein-
nahme durch die Sonnenstrahlung gleich geworden ist. Sind beide Streifen
genau gleich und gleichartig befestigt, so werden sie sich genau gleich er-
wärmen und gleiche Temperaturen annehmen. Sonach wird der thermo-
elektrische Strom gleich Null sein. Das Galvanometer muß also einspielen,
wenn beide Streifen gleichzeitig bestrahlt oder beschattet werden. Wird
aber der eine Streifen bestrahlt, während der andere durch einen Schirm
beschattet ist, so wird das Galvanometer die Verschiedenheit der Tempera-
turen der beiden Streifen ankünden. Es wird nun durch den beschatteten
Streifen ein elektrischer Strom geschickt und dieser so geregelt, daß das
Galvanometer auf Null stehen bleibt. Man nimmt an, daß dann der eine
Streifen genau so viel Wärme durch die Sonnenstrahlung erhält, als der
andere durch den elektrischen Strom. Aus Fig. 29 ersieht man, daß der
Streifen links bestrahlt wird, der Strom geht dann von der Quelle S durch
den Streifen rechts, dann durch das Ampèremeter A und Widerstände R zu
dieser zurück. Will man den Streifen rechts bestrahlen, so wird der Hebel C
nach links geschaltet.

Ist l die Länge und b die Breite eines solchen Streifens, so wird die Sonnen-
strahlung

$$Q = J \cdot b \cdot l$$

sein. Nach dem Jouleschen Gesetz ist aber auch in der Zeit = 1

$$Q = c \cdot i^2 \cdot w$$

wenn durch denselben Streifen ein Strom von der Stärke i Ampère geht
und w der elektrische Widerstand des Streifens ist. Wird der Widerstand
der Längeneinheit des Streifens mit R bezeichnet, so ist

$$\begin{aligned} w &= R \cdot l \\ Q &= J \cdot b \cdot l = c i^2 R l \\ J &= \frac{R}{b} c i^2 \end{aligned}$$

Dieser Ausdruck lehrt, daß alle darin vorkommenden Größen scharf
gemessen werden können, aber nur v o r und b e i der Herstellung des Instru-
mentes, also vom Verfertiger selbst. Nach der Vollendung wird der Ge-
braucher das kaum machen können. Man erhält also ein Schriftstück, in dem
steht, daß ein Herr X nach einem Normalinstrument Y das Instrument Z
verglichen und die Formel $u = v \cdot w^2$ gefunden hat. Das muß nun der
Bezieher glauben und hat kein Mittel, sich von der Richtigkeit der Formel
zu überzeugen. Das sind keine gesunden Verhältnisse und dadurch kehren
wir wieder zu den alten Zeiten zurück, in denen es bei dem Barometer und den
Thermometern ähnlich war. Es ist sicher eines der größten Verdienste des
nunmehr aus dem Leben geschiedenen R. Fucß, daß er in dem System
Wüd-Fucß ein Barometer geschaffen hat, das in allen Teilen durch sich
selbst geprüft werden kann. Das wird man auch bei diesen wichtigen Mes-
sungen zu erreichen suchen müssen und das erfordert die Rückkehr zu dem
Violleschen Aktinometer. Gegen das sogenannte Silver-Disk-Aktinometer
des Herrn Abbot muß entschieden Widerspruch erhoben werden.

Das Viollesche Aktinometer.

Das Wesen des Violleschen Aktinometers zeigt die mittlere Figur des
Bildes 27. Ein Thermometer mit geschwärzter Kugel E B befindet sich
in einem kugelförmigen Gefäß mit doppelter Wandung. Durch den Raum
zwischen diesen Wänden fließt Wasser und erhält die Umhüllungsfläche auf
einer konstanten Temperatur t_0 . Durch die Röhre A können die Sonnen-
strahlen mit dem Querschnitt F ein- und auf die Thermometerkugel fallen.
Sie erwärmen zuerst die Glaswand und dann das Quecksilber. Ich habe
im Jahre 1898 (Met. Zeitschrift Bd. 15 S. 180 bis 182) nachgewiesen, daß
jede in das Quecksilber eintretende Wärmemenge sich sofort anzeigt und
daß das Herbeiführen gleichmäßiger Temperaturverteilung nicht nötig ist.
Es wird sich in erster Linie darum handeln, den Wasserwert der Thermo-
meterkugel genau zu bestimmen, was mittels des Bunsenschen Eiskalori-
meters und durch Abkühlungsversuche im Vakuum mit aller wünschens-
werten Genauigkeit und jederzeit möglich sein wird. Wahrscheinlich wird
die schwierig herstellbare Kugelform des Umhüllungsgefäßes gar nicht
nötig sein, man wird die Zylinderform anwenden können, und dann wird
es auch möglich sein, zwei Instrumente zu kombinieren, um gleichzeitig
Bestrahlungs- und Abkühlungsversuche ausführen zu können.

Der Vorgang bei der Bestrahlung wird nun folgender sein. Bei Beginn
derselben ist überall die Temperatur t_0 C. Der Wärmestrahle A C mit dem
Querschnitt F erhöht in der Zeit z Sekunden die Temperatur des Thermo-
meters auf t C. Ist J die Intensität der Strahlung in GK/qcm · sec,
W der Wasserwert derjenigen Teile des Thermometers, welche die Tempe-
ratur t annehmen und Q die aufgenommene Wärme, so ist

$$1) \quad Q = z \cdot F \cdot J \cdot z = W (t - t_0) \text{ Gramm-Kalorien.}$$

α ist ein Zahlenwert, welcher kleiner als 1, aber um so mehr = 1 ist, je
vollkommener die Strahlen absorbiert werden. Hieraus folgt

$$2) \quad \frac{dQ}{Q} = \frac{dW}{W} + \frac{d(t - t_0)}{t - t_0}$$

Um den relativen Fehler in Q möglichst klein zu machen, werden also
W und $(t - t_0)$ möglichst groß zu wählen sein. Je größer aber W ist, um so
länger dauert es, bis dieselbe Temperaturdifferenz erreicht wird. Es wird
also darauf ankommen, wie genau W bestimmt werden kann. Ist dies genau
möglich, so wird

$$3) \quad W \text{ möglichst klein}$$

zu wählen sein, um einen raschen Temperaturanstieg erreichen zu können.
Wenn nun

$$t > t_0$$

geworden ist, beginnen die folgenden Vorgänge:

- a) Von der Hülle wird Wärme nach dem Thermometer gestrahlt.
- b) Das Thermometer strahlt Wärme nach der Hülle.
- c) Wärme wird durch die Thermometerröhre fortgeleitet.
- d) Wärme wird durch die Luft durch Leitung nach der Hülle geführt.
- e) Dieser Vorgang wird durch Strömungen in der Luft unterstützt.

Denkt man sich in D einen Quadratzentimeter, so strahlt dieser dem
Thermometer die in dem Kegel B B₁ D befindliche Wärmemenge zu. Wenn
CD = R wesentlich größer als CB = C B₁ = r ist, so ist $\angle CDB$ so klein,
daß der Cosinus = 1 angenommen werden kann. Die von dem Quadrat-
zentimeter in D nach allen Richtungen in einer Sekunde ausgestrahlte Wärme-
menge ist nach Formel Nr. 4 Seite 62

$$4) \quad S_0 = 1274 \cdot 10^{-13} \cdot T_0^4 \text{ Gramm-Kalorien/qcm} \cdot \text{sec} \\ = C \cdot T_0^4$$

Die von 1 qcm in D der Kugel in 1 Sekunde zugestrahlt Wärme q_0 ist
aber

$$5) \quad q_0 = \frac{S_0}{\pi} \cdot \frac{r^2 \pi}{R^2} = S_0 \cdot \frac{r^2}{R^2}$$

Die Größe der strahlenden Fläche der Hülle ist

$$6) \quad 4 R^2 \pi - F$$

Die ganze Hülle strahlt der Thermometerkugel also die Wärmemenge

$$7) \quad Q_0 = S_0 \left(4 \pi r^2 - F \frac{r^2}{R^2} \right) \text{ Gramm-Kalorien}$$

in 1 Sekunde zu.

Die von der Kugel in 1 Sekunde ausgestrahlte Wärmemenge ist

$$8) \quad Q = S \cdot 4 r^2 \pi$$

Sind K_1 der Wärmeleitkoeffizient des Glases und f der Querschnitt
der Röhre, so strömt durch diese in 1 Sekunde die Wärmemenge

$$9) \quad Q_1 = K_1 \cdot f \cdot \frac{t - t_0}{R - r}$$

Für den Vorgang unter d stelle ich die folgenden Betrachtungen an.
Wenn man mit dem Radius $R > r > R$ sich eine Kugel denkt, so ist deren
Oberfläche $4 \pi r^2$. Der Wärmeleitkoeffizient der Luft sei K_2 und $\frac{dt}{dz}$
das Temperaturgefälle. In der Zeit dz strömt dann durch diese Kugelfläche
die Wärmemenge

$$dQ = 4 \pi r^2 \cdot K_2 \cdot \frac{dt}{dz} \cdot dz$$

woraus

$$\frac{dQ}{dz} = 4\pi r^2 K_2 \cdot \frac{dt}{d\rho} = \text{Konstante}$$

die in der Zeiteinheit durch eine Kugelfläche gehende Wärmemenge folgt, welche für jedes ρ dieselbe sein muß. Man erhält hieraus für das Temperaturgefälle die Gleichung

$$\frac{dt}{d\rho} = \frac{\text{Konstante}}{4\pi K_2} \cdot \frac{1}{\rho^2}$$

woraus folgt, daß das Temperaturgefälle nach außen umgekehrt dem Quadrat von ρ proportional abnimmt. Weiter erhält man

$$\int_{t_0}^t dt = \int_R^r \frac{\text{Konstante}}{4\pi K_2} \cdot \frac{d\rho}{\rho^2}$$

$$10) \quad Q_2 = \text{Konstante} = \frac{dQ}{dz} = 4\pi K \frac{Rr}{R-r} (t-t_0)$$

Der durch Strömung dem Thermometer verloren gehende Teil der Wärme wird sich durch Rechnung kaum einigermaßen genau ermitteln lassen, wenn dies auch mehrfach versucht worden ist.

Ist nun $d(t-t_0)$ die Temperaturzunahme in der Zeit dz , so erhält man

$$11) \quad \frac{d(t-t_0)}{dz} = \frac{1}{W} \left[(\alpha J - \frac{r^2}{R^2} S_0) F - 4\pi r^2 (S - S_0) - \left(\frac{f K_1}{R} + 4\pi K_2 \frac{Rr}{R-r} \right) (t-t_0) \right]$$

Es wird nunmehr sich darum handeln, die Ordnung dieser Größen abzuschätzen. Ich nehme an

$$r = 1 \text{ cm} \quad R = 10 \text{ cm} \quad f = 0.2 \text{ qem.}$$

Aus der Gleichung für S in Formel Nr. 4 Seite 62

$$S = 764.10^{-13} T^4 \text{ GK/qem} \cdot \text{min}$$

folgen

$$\log S = -10.11691 + 4 \log T \quad \log T = \frac{10.11691 + \log S}{4}$$

Diese Gleichung erscheint auf Papier mit doppelt-logarithmischer Teilung als eine Gerade, wenn man $\log T$ als Abszissen und $\log S$ als Ordinaten aufträgt. Man findet durch Rechnung

$$S = 0.1 \quad T = 190.2^{\circ} \quad S = 10 \quad T = 601.5$$

Mit diesen Zahlen wurde in Fig. 30 die mittlere Gerade erhalten. Die anderen Geraden, welche parallel zur mittleren verlaufen, lassen dann S bei allen Temperaturen von $T = 10^{\circ}$ bis 10000° ablesen.

Der Fig. 30 konnten die nachstehenden Werte entnommen werden:

T = 270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370 ^o
S = 0.41	0.48	0.55	0.63	0.72	0.81	0.91	1.02	1.15	1.29	1.44

GK/qem · min.

Man sieht, daß schon bei $t = 100^{\circ} \text{C}$ die Ausstrahlung eines vollkommen schwarzen Körpers der Zustrahlung durch die hochstehende Sonne gleich ist.

Es entsteht nun die Frage, ob

$$12) \quad S - S_0 = C T^4 - C T_0^4 = \lambda (t - t_0)$$

gesetzt werden kann.

Wenn T_0 zwischen 270 und 290 liegt, also ungefähr $t_0 = 0$ bis 20° ist, so erhält man

$(t-t_0)$	= 10 ^o	20 ^o	30 ^o	40 ^o	50 ^o	60 ^o	70 ^o	80 ^o	90 ^o	100 ^o
$T_0 = 270$	$\lambda = 11$	11	12	13	13	14	14	15	16	17×10^{-5}
280	$\lambda = 12$	13	13	14	15	15	16	17	18	$\times 10^{-5}$
290	$\lambda = 14$	14	15	15	16	17	18	18		$\times 10^{-5}$

GK/qem · sec.

Kann $t-t_0$ bis zu 50° gehen, so wird man bei Überschlagsrechnungen

$$12 a) \quad S - S_0 = 0.000135 (t - t_0) \text{ GK/qem} \cdot \text{sec}$$

$$13) \quad 4\pi r^2 (S - S_0) = 0.00170 (t - t_0) \text{ GK/qem} \cdot \text{sec}$$

rechnen dürfen.

Für S_0 kann man rund $8.10^{-3} \text{ GK/qem} \cdot \text{sec}$ rechnen, also

$$14) \quad \frac{r^2}{R^2} \cdot S_0 = 8.10^{-5} \text{ GK/qem} \cdot \text{sec.}$$

Als Temperaturleitungskoeffizient nehme ich nach den Tabellen auf Seite 9 bis 12 meiner Vorarbeit zu dem Jahrbuch 1901 „Studien über Erd- bodenwärme und Schneedecke“

für Glas $K_1 = 163.10^{-5}$ und für Luft $K_2 = 50.10^{-6} \text{ GK/qem} \cdot \text{sec}$ an.

Dies gibt dann

$$15) \quad \frac{f \cdot K_1}{R} = \frac{0.2 \times 163.10^{-5}}{10} = 326.10^{-7} \text{ GK/sec} = 0.0000326 \text{ GK/sec}$$

$$4\pi K_2 \frac{R \cdot r}{R-r} = 12.56 \times 50.10^{-6} \cdot \frac{10}{9} = 70.10^{-5} = 0.00070 \text{ GK/sec.}$$

Sonach erhält man nach 11

$$16) \quad \frac{d(t-t_0)}{dz} = \frac{1}{W} [(\alpha J - 8.10^{-5}) F - \{0.00170 + 0.00003 + 0.00070\} (t-t_0)] = \frac{1}{W} [(\alpha J - 8.10^{-5}) F - 0.00243 (t-t_0)]$$

Der Wasserwert des Quecksilbers in einer Kugel von 2 cm Durchmesser kann zu rund 2 gr angenommen werden. Für J kann $1.8 : 60 = 0.03 \text{ GK/qem} \cdot \text{sec}$ eingestellt und 8.10^{-5} vernachlässigt werden. Es ist dann

$$17) \quad \frac{d(t-t_0)}{dz} = 0.015 F - 0.00122 (t-t_0) \text{ }^{\circ} \text{C in 1 Sekunde} = 0.90 F - 0.0729 (t-t_0) \text{ }^{\circ} \text{C in 1 Minute.}$$

Als größter Querschnitt des Strahles wird 3 qem angenommen werden können. Sonach würde

$$18) \quad \frac{d(t-t_0)}{dz} = 2.70 - 0.0729 (t-t_0) \text{ }^{\circ} \text{C in 1 Minute sein.}$$

Der Temperaturanstieg würde mit 2.70°C in der Minute beginnen und erst dann aufhören, wenn $t-t_0 = 36.9^{\circ}$ geworden ist. Hieraus folgt, daß man auch jetzt noch die Differentialgleichung der Belichtung in der einfachen alten Form („Der Sonnenschein“ S. 15)

$$19) \quad \frac{d(t-t_0)}{dz} = \frac{1}{W} (J \cdot F - O h (t-t_0))$$

schreiben darf. Hierin ist $O = 4r^2\pi$ die Oberfläche des Thermometers und h ist der Koeffizient der äußeren Wärmeleitung, in den dann der Einfluß der Luftbewegung eingeschlossen ist.

Jede Belichtungsbeobachtung ergibt eine Gleichung von der Form

$$20 a) \quad \varphi = \frac{d(t-t_0)}{dz} = \frac{JF}{W} - \frac{Oh}{W} (t-t_0)$$

Blendet man die Strahlung ab und beobachtet die Abkühlung, so erhält man die weitere Gleichung

$$20 b) \quad \psi = \frac{d(t-t_0)}{dz} = - \frac{Oh}{W} (t-t_0)$$

Hieraus folgt

$$21) \quad J = \frac{W}{F} (\varphi - \psi)$$

Es ist also nur nötig, daß W und F genau bestimmt sind, $\frac{Oh}{W}$ ergeben die Beobachtungen.

Für den Koeffizienten der äußeren Wärmeleitung kann der Ausdruck

$$22) \quad h = \left[C(T + T_0)(T^2 + T_0^2) + \frac{K_2}{r} \frac{R}{R-r} \right]$$

angenommen werden.

Die Wärmeleitung in der Thermometeröhre erwies sich so klein, daß sie vernachlässigt werden kann, aber es fehlt noch der Wärmeverlust durch Bewegung der Luft zwischen Thermometer und Hülle.

Als größten Wert von $t-t_0$ erhält man aus 20 a

$$23) \quad (t-t_0)_{\text{max}} = \frac{J \cdot F}{O \cdot h}$$

In diesem Ausdruck kommt W nicht vor. Es wird die Erwärmung der Kugel um so größer werden, je intensiver die Sonnenstrahlung und je größer der Querschnitt des Strahlenbündels, aber je kleiner die Oberfläche des Thermometers und der äußere Wärmeverlust sind. Das Material, aus der die Kugel besteht, ist ohne jeden Einfluß. Wenn man die Gleichung 20 a unter der Annahme integriert, daß für $z=0$ ($t-t_0$) = 0 ist, erhält man

$$24) \log \left[\frac{J \cdot F}{W} - \frac{O \cdot h}{W} (t-t_0) \right] = \log \frac{J \cdot F}{W} - \text{Mod.} \frac{O \cdot h}{W} z$$

oder

$$z = e^{-\frac{O \cdot h}{W} z} = 10^{-\text{Mod.} \frac{O \cdot h}{W} z} = 1 - \frac{O \cdot h}{J \cdot F} (t-t_0) = 1 - \frac{t-t_0}{(t-t_0)_{\max}}$$

$$25) J = \frac{O \cdot h}{F} \cdot \frac{t-t_0}{1-\zeta} = \frac{O \cdot h}{F} (t-t_0)_{\max}$$

Integriert man aber 20 b unter der Annahme, daß die Abkühlung zur Zeit 0 bei (t_1-t_0) beginnt, so erhält man

$$26) \log(t-t_0) - \log(t_1-t_0) - \text{Mod.} \frac{O \cdot h}{W} z$$

$$\zeta = 10^{-\text{Mod.} \frac{O \cdot h}{W} z} = \frac{t-t_0}{t_1-t_0}$$

Die Ermittlung von J aus den Beobachtungen kann auf zweifache Weise geschehen. Bestimmt man nur den Temperaturanstieg während der ersten Minuten, so erhält man nach 20 a den Wert φ . Es ist nun nötig, auch noch ψ nach 20 b zu bestimmen und das erfordert, daß die Abkühlungsversuche bei denselben Werten von ($t-t_0$) angestellt werden. Das richtigste Verfahren wird aber wohl das sein, daß man die Gleichungen 24 bis 26 zugrunde legt. Trägt man zuerst die Abkühlungsversuche derart auf, daß die beobachteten $\log(t-t_0)$ als Ordinaten über den Abszissen z erscheinen, so müssen sich diese Punkte in einer Geraden anordnen, deren Lage man feststellen kann. Aus ihr können die Größen t_1-t_0 und $\text{Mod.} \frac{O \cdot h}{W}$ entnommen werden. Sonach hat man alle in Formel 25 zur Berechnung von J auftretenden Größen. Hat man dieses aus einigen Belichtungsversuchen gefunden und setzt man diesen Wert in Formel 24 ein, so müssen sich wieder die Logarithmen als Ordinaten über den Abszissen z in einer Geraden anordnen. So erhält man also eine Kontrolle der Beobachtungen und der theoretischen Grundlagen.

Wenn bei möglichst großem Werte von O der Wasserwert W möglichst klein gemacht wird, so nähert sich ζ immer mehr der Null und es ergibt sich aus 25 und 23

$$27) J = \frac{O \cdot h}{F} (t-t_0)_{\max}$$

Sonach fällt die Zeit heraus, das Instrument stellt sich sofort auf die höchste Temperaturdifferenz ein und bleibt dort stehen. Wird die Bestrahlung abgeblendet, so muß dann sofort wieder $t-t_0 = \text{Null}$ werden. Ist t_0 unverändert geblieben, so muß auch das Strahlungsthermometer wieder den Wert t_0 zeigen.

Es soll nun noch das Zahlenbeispiel weiter geführt werden. Angenommen wurden

$$J = 1.8 \text{ GK/qem} \cdot \text{min} \quad F = 3 \text{ qem} \quad W = 2 \text{ gr.}$$

Aus 16 folgt

$$O \cdot h = 0.00243 \times 60 = 0.1458 \text{ GK/qem} \cdot \text{min.}$$

Sonach ist nach 20

$$\varphi = \frac{d(t-t_0)}{dz_1} = \frac{J \cdot F}{W} - \frac{O \cdot h}{W} (t-t_0) = 2.70 - 0.0729 (t-t_0)$$

$$\psi = \frac{d(t-t_0)}{dz_2} = - \frac{O \cdot h}{W} (t-t_0) = - 0.0729 (t-t_0)$$

$$\varphi - \psi = \frac{J \cdot F}{W} = 2.70 = \text{Konstant,}$$

falls die Werte von φ und ψ für genau gleiche Werte von ($t-t_0$) bestimmt worden sind. Weiter folgt hieraus

$$t-t_0 = 36.9 - 13.7 \varphi = - 13.7 \psi.$$

Aus 23 ergibt sich

$$(t-t_0)_{\max} = \frac{J \cdot F}{O \cdot h} = 36.9^\circ$$

und aus 24, 25 und 26

$$\log \zeta = - \text{Mod.} \frac{O \cdot h}{W} z = - 0.0318 z$$

$$\zeta = 1 - \frac{t-t_0}{(t-t_0)_{\max}} = 1 - \frac{t-t_0}{36.9}$$

$$\log \varphi = \log \varphi_0 - 0.0318 z = \log 2.70 - 0.0318 z$$

$$\log(t-t_0) = \log(t_1-t_0) - 0.0318 z.$$

Zur Darstellung der Gleichungen für ζ , φ und ($t-t_0$) dient das Logarithmenpapier mit logarithmischer Teilung für die Ordinaten $\log \zeta$, $\log \varphi$ und $\log(t-t_0)$ und gleichmäßiger Teilung für die Abszissen z (Minuten), wie dieses Fig. 31 darstellt. Zuerst wird die ζ -Gerade aufgetragen, die für

$$\begin{array}{lll} z = 0 & \log \zeta = 0 & \zeta = 1 \\ z = 60 \text{ min} & \log \zeta = - 1.908 & \zeta = 0.0124 \end{array}$$

ergibt.

Die φ - und ($t-t_0$)-Geraden müssen dieser parallel verlaufen. Die φ -Gerade beginnt bei $z=0$ mit $\varphi_0 = 2.70$, man legt durch diesen Punkt eine Parallele zur ζ -Geraden.

z	Belichtung			Beschattung	
	ζ	φ	$t-t_0$	$t-t_0$	ψ
0	1.00	2.70	0.00	36.9	- 2.70
2	0.86	2.35	4.78	32.0	2.34
4	0.74	2.02	9.29	27.8	2.03
6	0.64	1.74	13.11	23.9	1.75
8	0.56	1.50	16.39	20.8	1.52
10	0.48	1.30	19.12	17.8	1.30
12	0.41	1.13	21.44	15.4	1.13
14	0.35	0.98	23.49	13.4	0.98
16	0.31	0.84	25.41	11.6	0.85
18	0.27	0.72	27.04	10.0	0.73
20	0.23	0.62	28.41	8.6	0.63
25	0.16	0.43	31.01	6.0	0.44
30	0.11	0.298	32.78	4.1	0.30
35	0.076	0.208	34.01	2.9	0.21
40	0.053	0.142	34.97	2.0	0.15
45	0.036	0.100	35.51	1.4	0.10
50	0.025	0.069	35.92	0.95	0.07
55	0.018	0.048	36.20	0.66	0.05
60	0.012	0.033	36.47	0.45	0.03

Den ζ - und φ -Geraden wurden die in der obigen Tabelle stehenden Werte unter ζ und φ für die voranstehenden Zeiten z entnommen. Aus der Gleichung

$$(t-t_0) = 36.9 - 13.7 \varphi$$

ergaben sich dann die neben den φ unter „Belichtung“ stehenden Zahlen. Wird also unter den angenommenen Verhältnissen das Thermometer belichtet, so werden die φ die Zunahme der Temperatur in einer Minute, die $t-t_0$ die erlangte Temperaturdifferenz angeben. Nach 60 Minuten ist der Wert $(t-t_0)_{\max} = 36.9^\circ$ noch nicht erreicht.

Die Beschattung kann von jeder beliebigen Zeit oder Temperaturdifferenz (t_1-t_0) an erfolgen. Man legt dann durch die Ordinate $\log(t-t_0)$ eine Parallele zur ζ -Geraden und kann an dieser die Temperatur ($t-t_0$) zur Zeit z ablesen. Aus

$$\psi = - 0.0729 (t-t_0)$$

erhält man dann das Temperaturgefälle. In Fig. 31 wurde angenommen, daß die Beschattung erst nach Eintritt des Maximums

$$(t_1-t_0) = (t-t_0)_{\max} = 36.9^\circ$$

erfolgt.

Dadurch ist die mit Δt bezeichnete Gerade gegeben, an der die Werte $(t - t_0)$ unter Beschattung in der Tabelle abgelesen wurden. Es ist leicht zu ersehen, daß in diesem Fall $\psi = -0.0729(t - t_0) = -\varphi$ sein und daß die Summe der nebeneinanderstehenden Werte von $t - t_0$ den konstanten Wert 36.9 ergeben muß. Die Abweichungen wurden durch kleine Fehler in der Ableitung der φ unter Belichtung und $(t - t_0)$ unter Beschattung bedingt.

Wenn wirkliche Messungen vorliegen, so kennt man nur

W und F, in unserem Falle also $W = 2 \quad F = 3$.

Die Beobachtungen ergeben die Temperaturdifferenzen $t - t_0$ zu den Zeiten z. Man wird diese Kurven auf gewöhnlichem Koordinatenpapier in der Weise darstellen, wie dies aus der rechten Seite des Bildes 27 zu ersehen ist. Durch Anlegen von Tangenten an diese Kurven für bestimmte Werte von $(t - t_0)$ kann man angenähert die Temperaturgefälle φ und ψ bestimmen und erhält so

$$J = \frac{W}{F} (\varphi - \psi) = \frac{2}{3} (\varphi - \psi).$$

Dann hat man, wie bereits erwähnt wurde, die bei der Beschattung beobachteten Δt in Logarithmenpapier einzutragen, in diese Punkte eine Gerade einzuzichnen, welche dann $O h$ ergibt und dann die Formeln 24 und 25 zur Ableitung von Verbesserungen für J anzuwenden.

Das Michelsonsche Bimetall-Aktinometer.

In Fig. 32 stellt a b einen Metallstreifen vor, welchem die Sonnenstrahlen durch die Öffnungen N und D zuströmen. Der Streifen soll 15 bis 20 mm lang, 1 bis 2 mm breit und 0.04 bis 0.05 mm dick sein. Er besteht aus 2 Metallen mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten; wird das eine Ende festgehalten, so werden Temperaturänderungen eine Bewegung des anderen Endes bedingen, wie dies bei den sogenannten Kompensationsstreifen der Fall ist. Dadurch wird der kleine Spiegel c mit der daran befindlichen Marke i bewegt. Durch B tritt das zur Beleuchtung der Marke nötige Licht ein. Das Bild von i entsteht im Mikroskop an der Stelle M, an der sich eine Glasteilung befindet. So kann die Krümmungsänderung des Streifens a b gemessen werden und damit gewissermaßen die Temperaturdifferenz $(t - t_0)$. Man wird nach den obigen Angaben den Wasserwert des Metallstreifens bei einer immerhin bedeutenden Fläche $F = 0.4 \text{ qcm}$ unbedenklich $= 0$ und $O = 2 F$ setzen können, so daß dann Formel 27 anwendbar ist und in

$$J = 2 h (t - t_0)$$

übergeht. Der Vorgang ist hier allerdings etwas anders als der bei Ableitung der Formeln vorausgesetzte, wahrscheinlich wird der größte Teil der Wärme

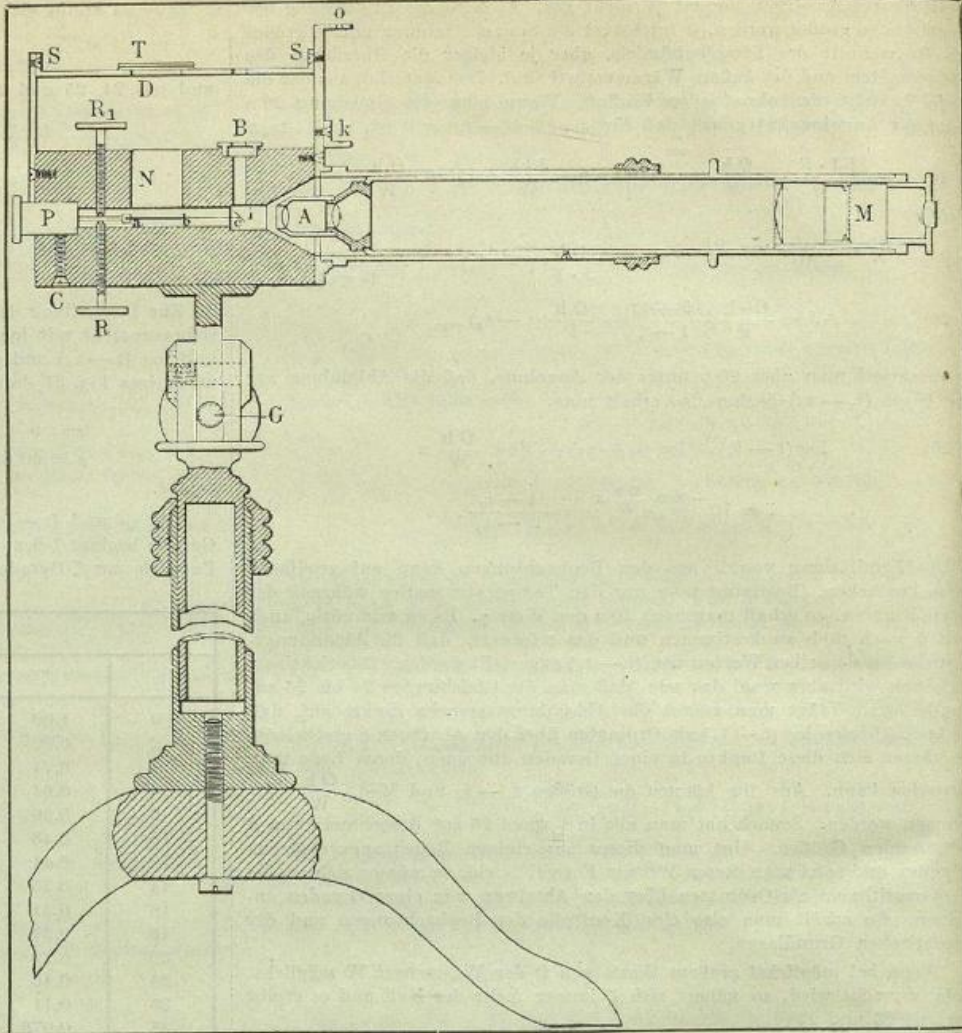


Fig. 32

rasch von a nach P und damit in die großen Metallmassen überfließen. Man hat es in der Hand, dem Wert von h die zur Erreichung einer gewünschten Empfindlichkeit nötige Größe zu geben. Das Instrument scheint für den praktischen Gebrauch gut zu sein, sehr störend ist aber, daß die Temperatur t_0 nicht konstant gehalten werden kann und deshalb ununterbrochen Änderungen im Nullpunkt eintreten. Die Intensität der Strahlung wird proportional dem Ausschlag angenommen. Der Zahlenfaktor muß durch Vergleichung mit einem anderen Instrument gefunden werden.

Zur Ermittlung der Zusammensetzung der Gesamtstrahlung können Filter aus rotem und blauem Glas vorgesetzt werden.

Die Druckstöcke zu den Figuren 29—32 wurden mir von dem Kgl. preussischen meteorologischen Institut freundlichst zur Verfügung gestellt.

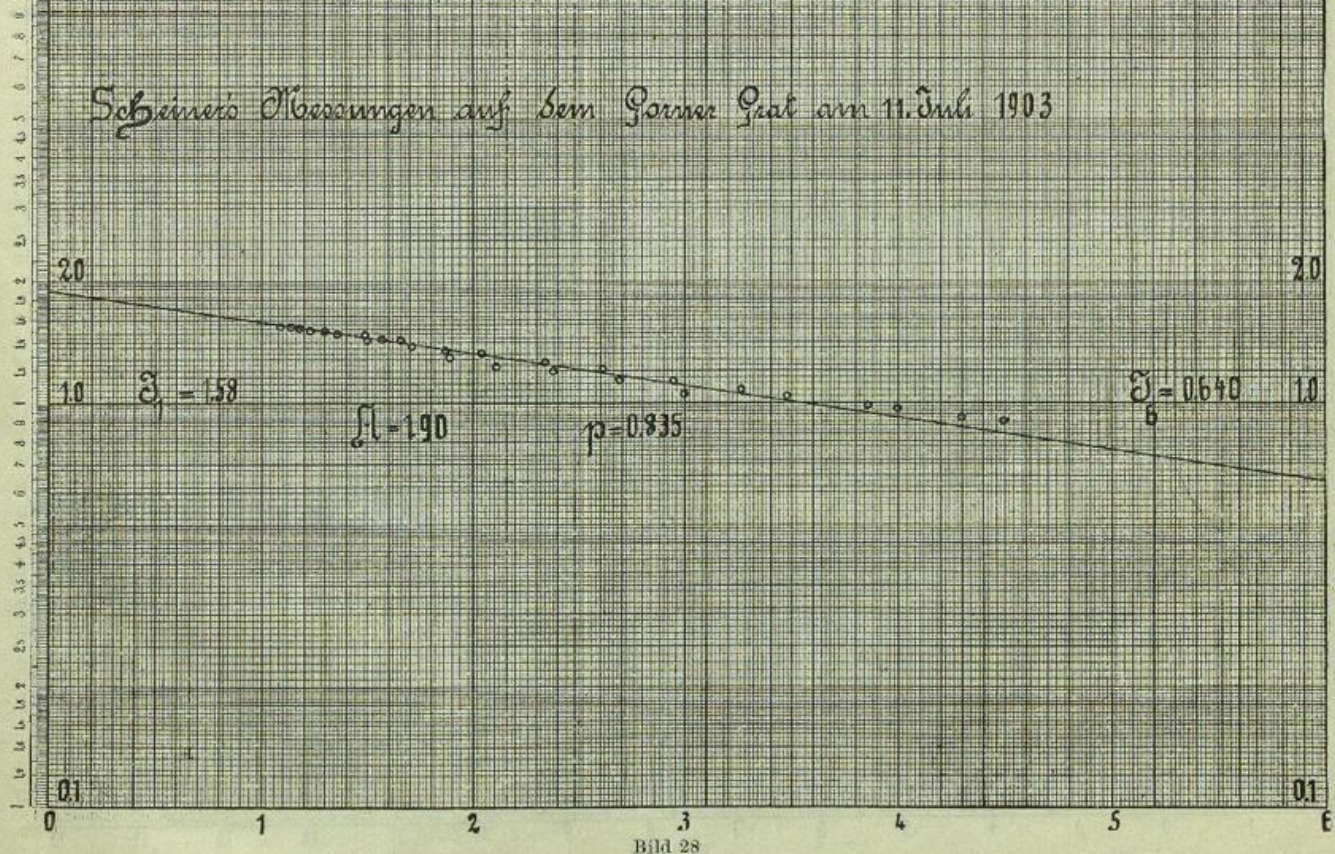
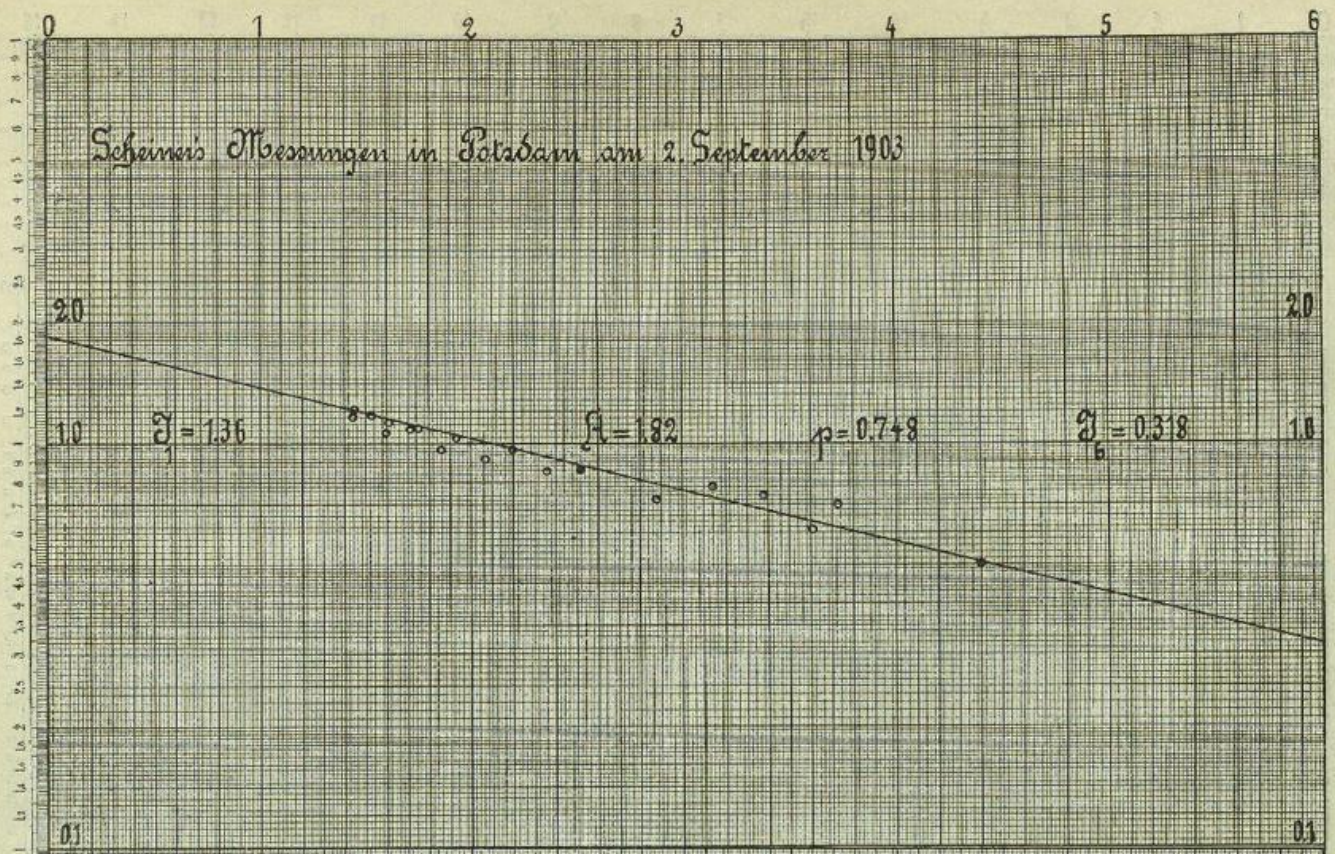
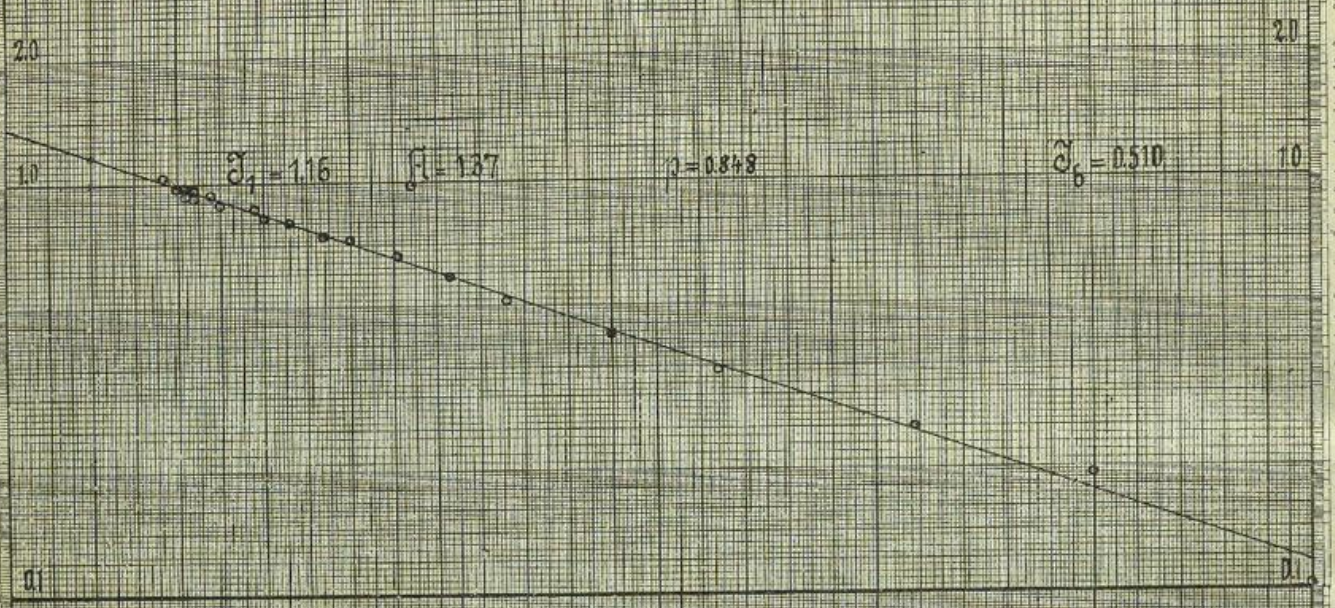


Bild 28

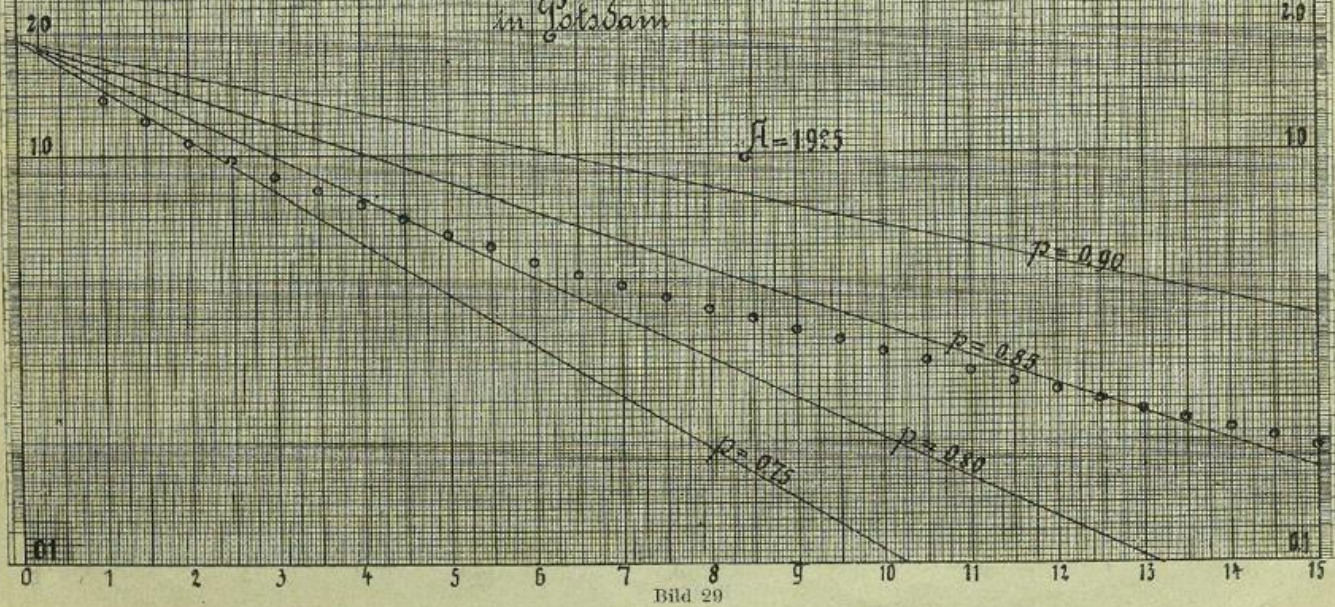
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Messungen am Meteorologischen Observatorium in Potsdam

am 7. Oktober 1909



Mittlere Strahlungsintensität im Innern in ihrer Abhängigkeit von der Durchstrahlung Luftmasse in Potsdam



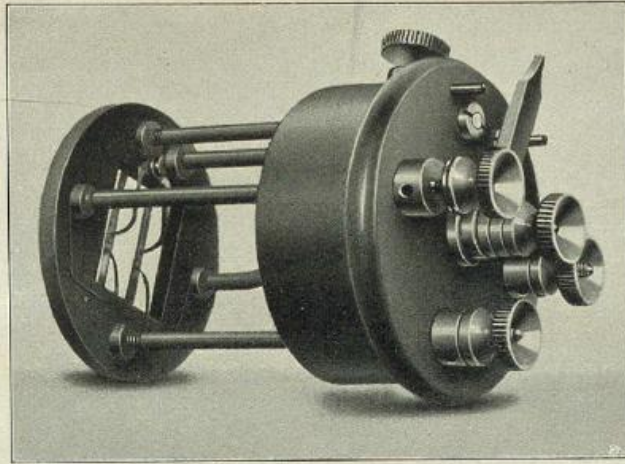


Bild 30

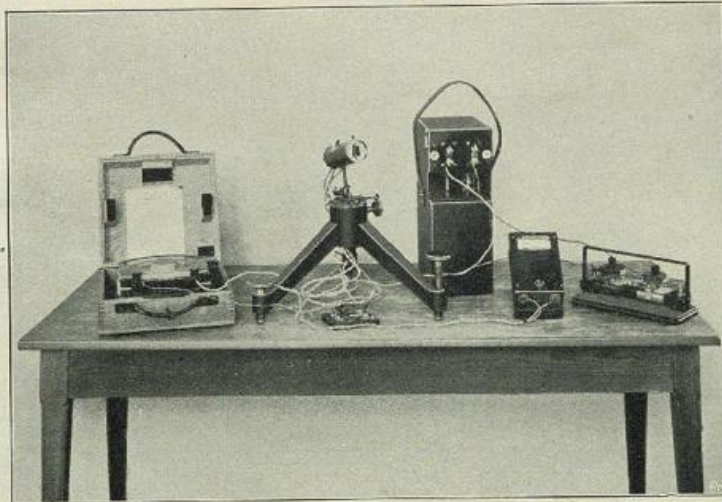
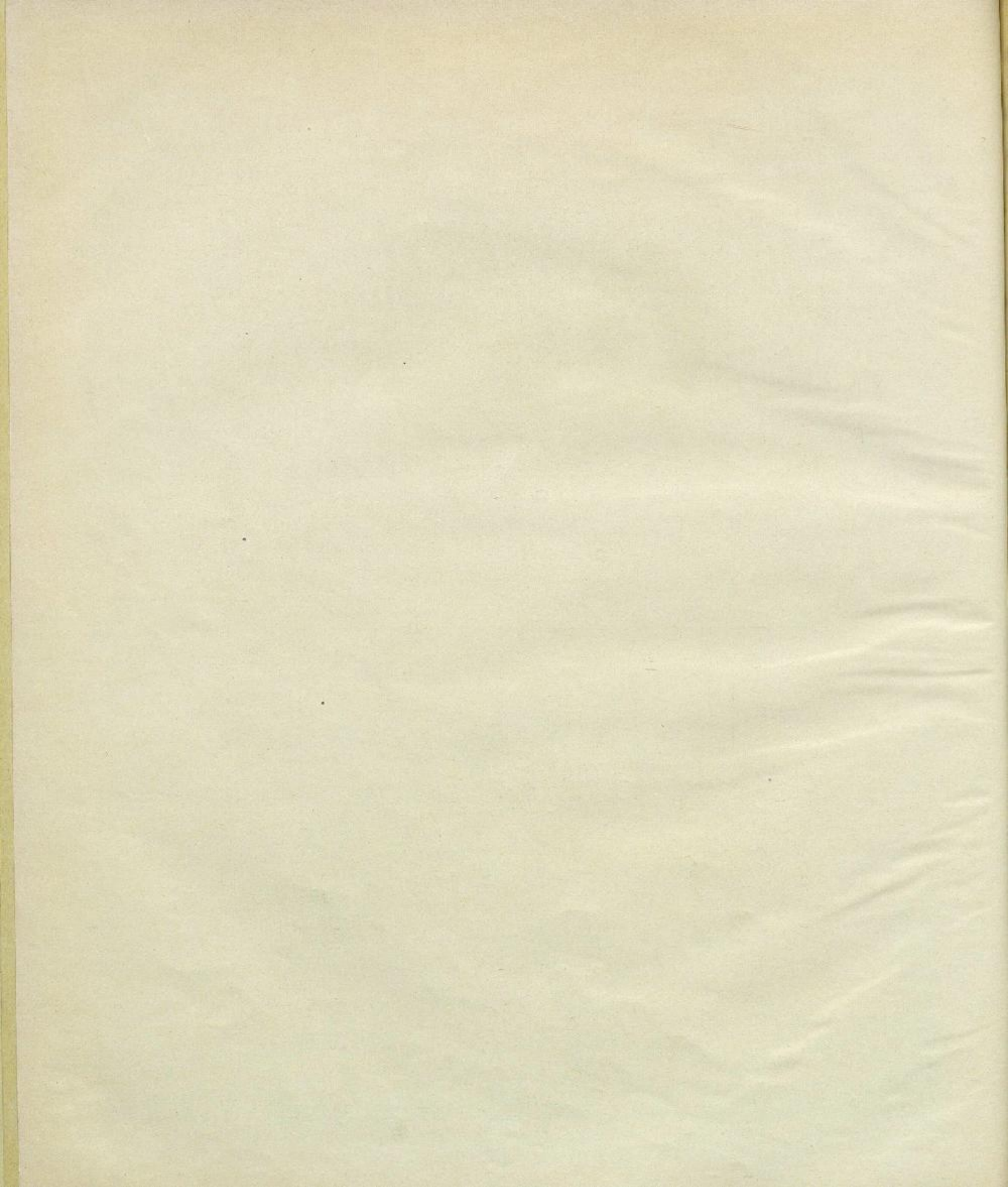


Bild 31



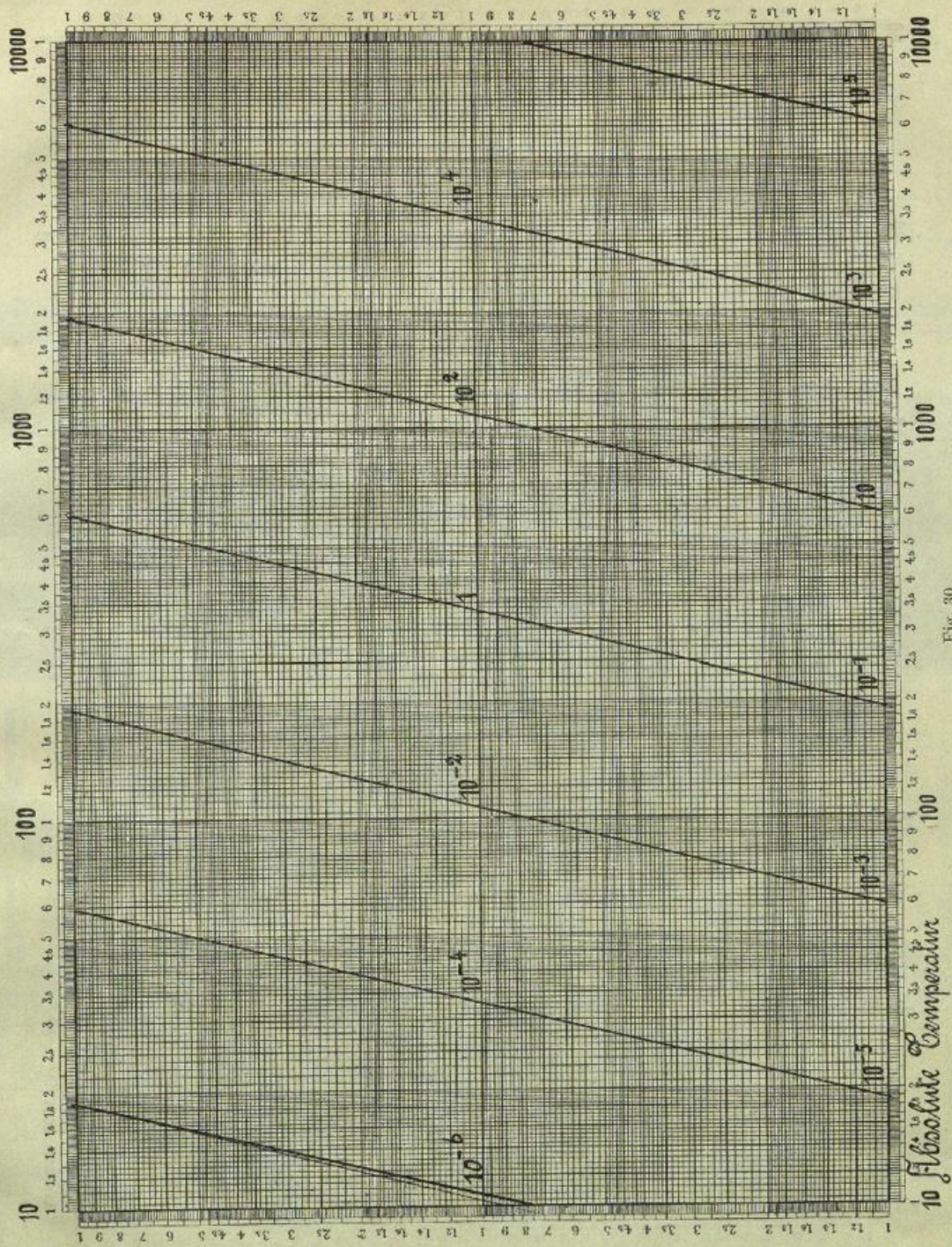


Fig. 30

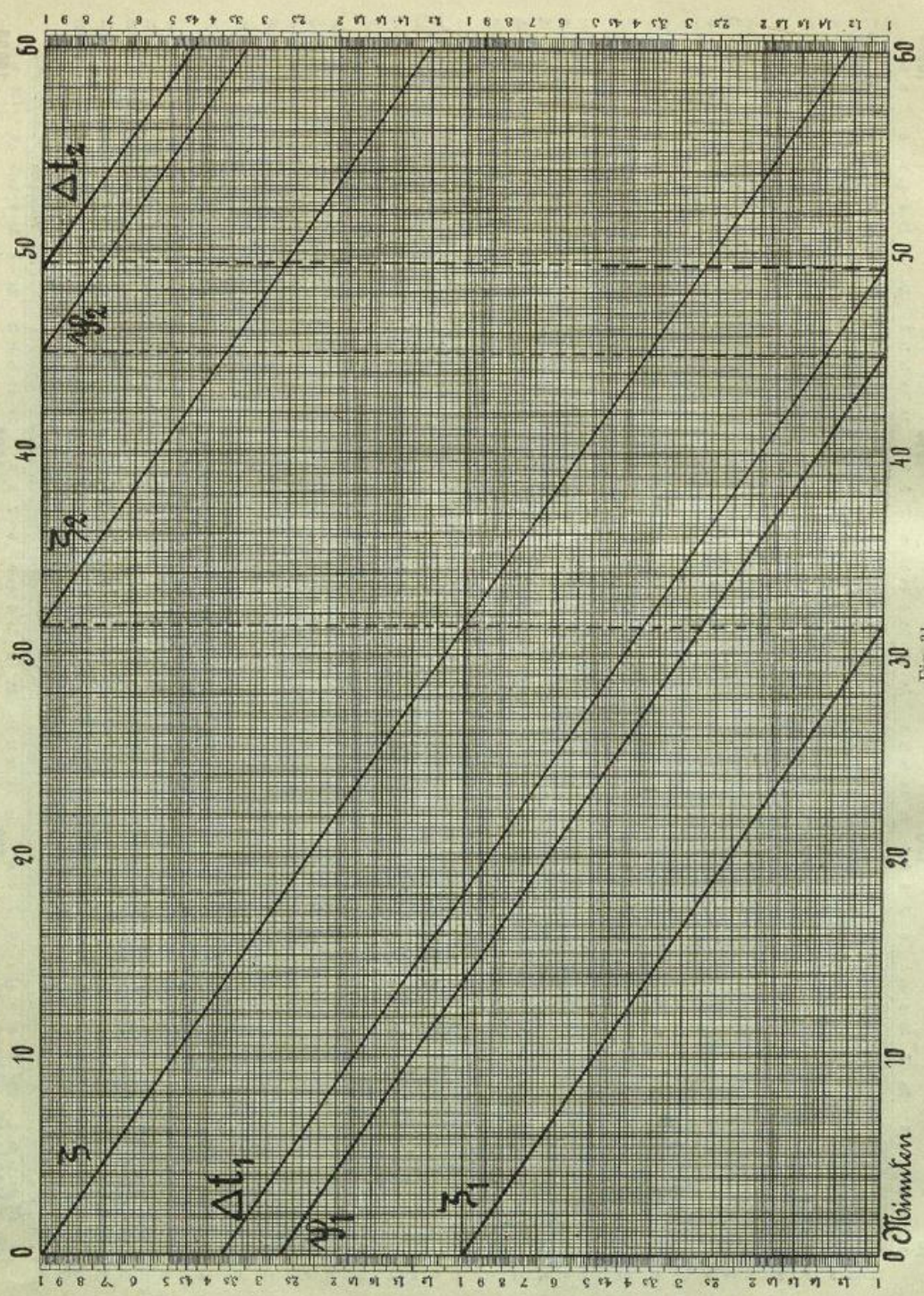


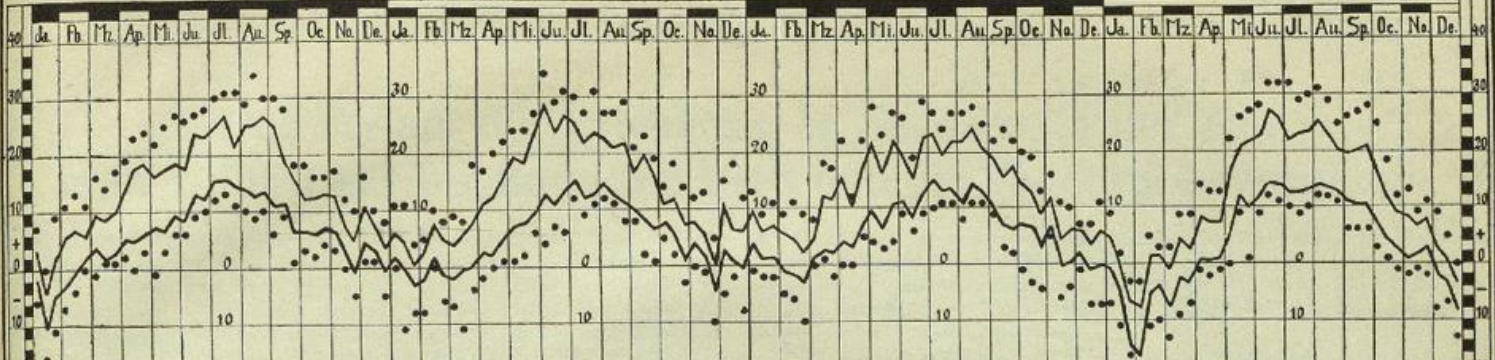
Fig. 31

1914

1915

1916

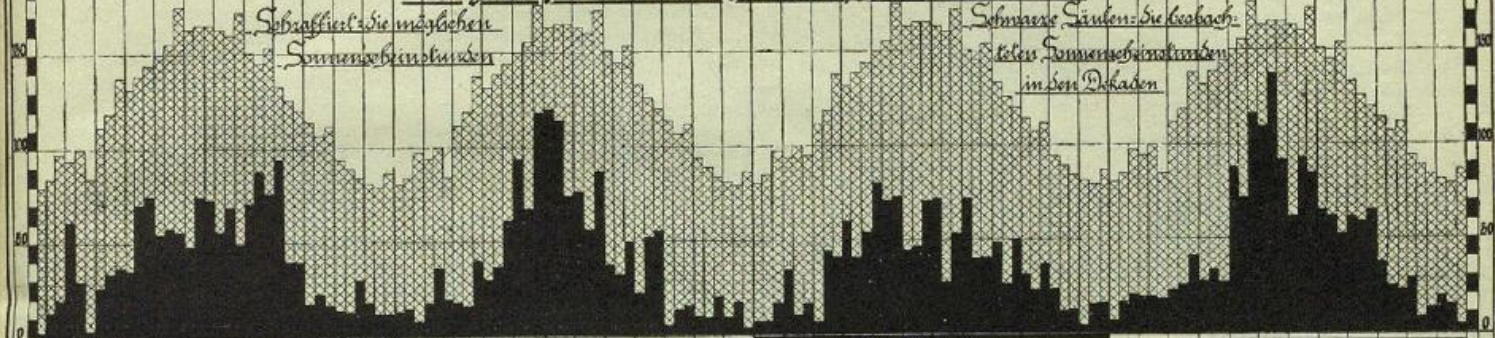
1917



Lufttemperatur in Dresden

Linien: Bewegung der täglichen Maxima u. Minima, Mittlere, Kälte-Wärmezuge in den Dekaden

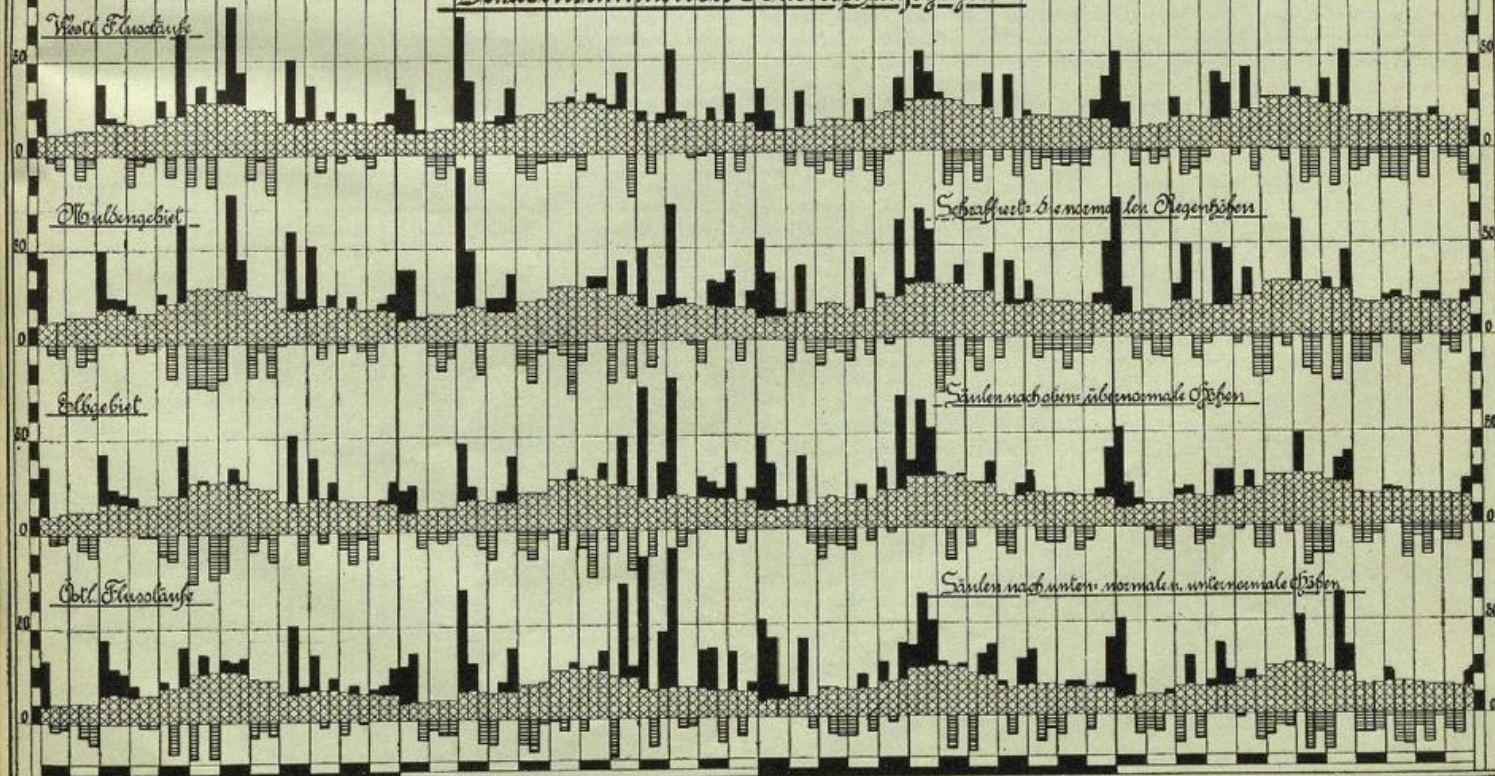
Zahl der Stunden mit Sonnenschein in Dresden



Schraffiert: die möglichen Sonnenscheinstunden

Schwarze Säulen: die beobachteten Sonnenscheinstunden in den Dekaden

Dekadensummen der Döderschlagshöhen



West-Flussläufe

Muldengebiet

Elbgebiet

Ost-Flussläufe

Säulen nach oben: übernormale Höhen

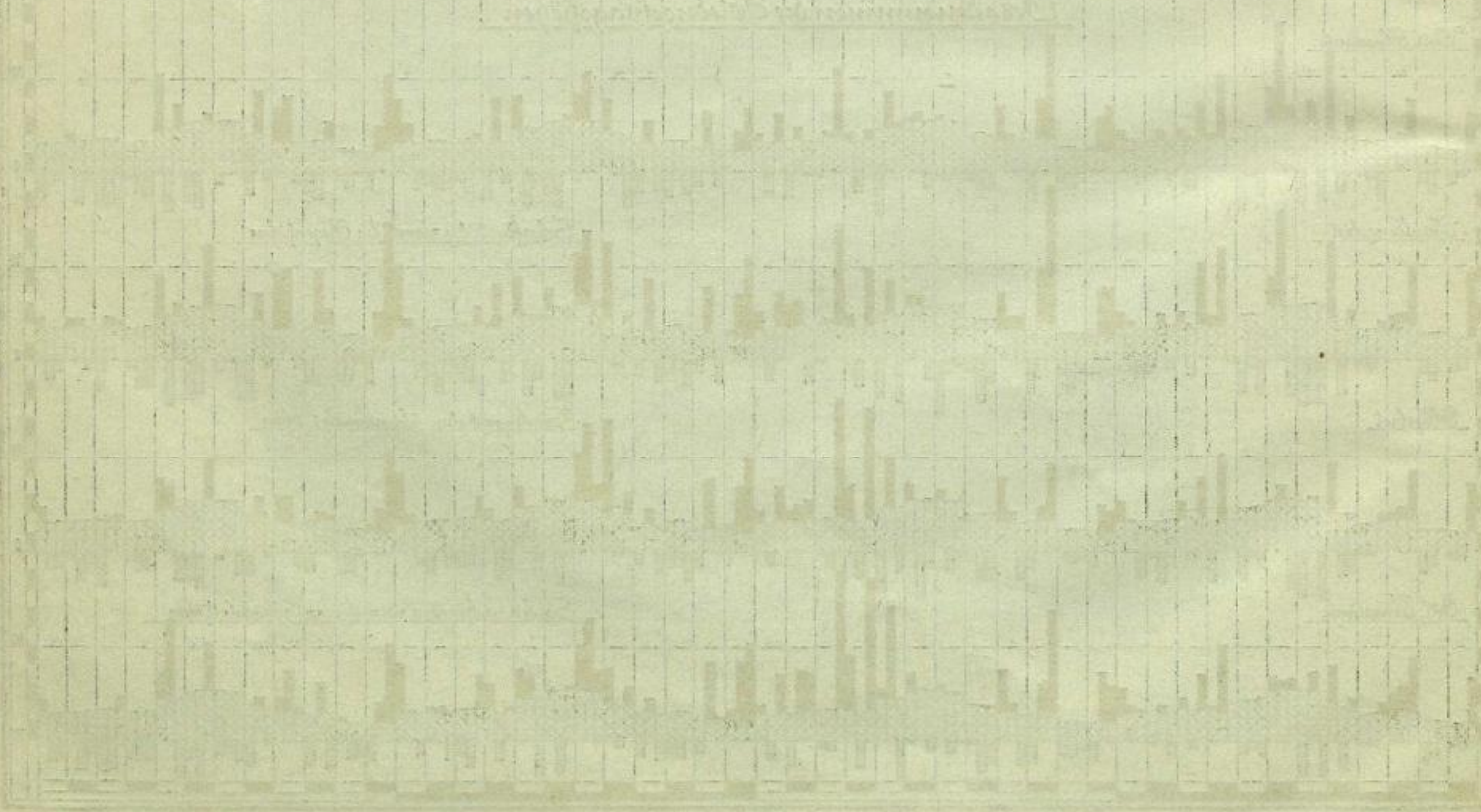
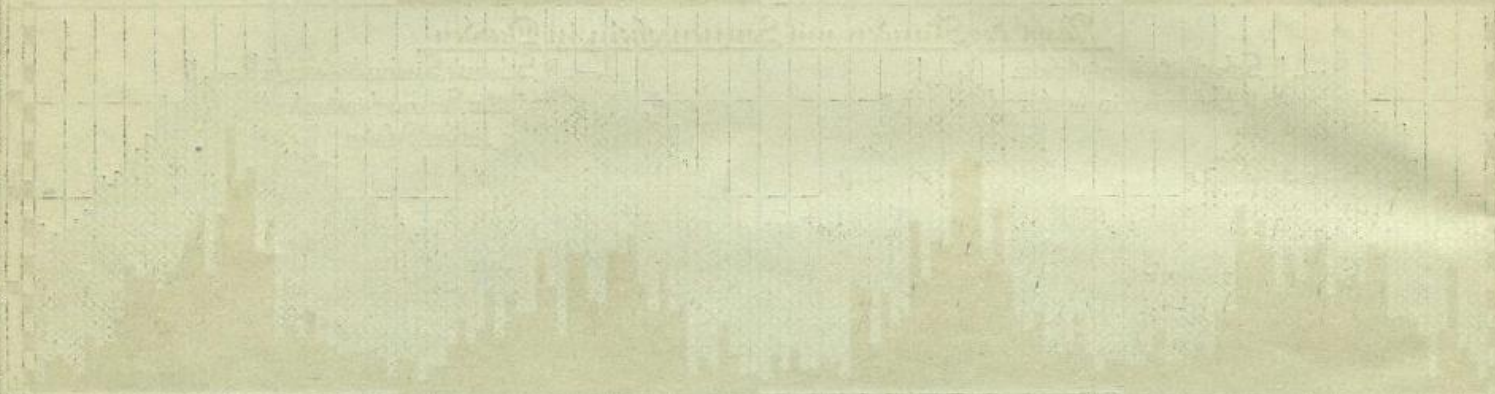
Säulen nach unten: normale u. unternormale Höhen

1791

1792

1793

1794



Der Verlauf der Witterung in Sachsen in der Zeit vom 1. Juli 1913 bis Ende Juli 1918 und die Vegetationsvorgänge.

Welche Bedeutung der Witterungsverlauf für unser Wohl und Wehe hat, ist uns jetzt in der Zeit klar geworden, in der unsere ganze Existenz von dem Ertrag der Wiesen, Felder und Wälder der Heimat abhängt. Wir lernen kennen, welchen Einfluß das rechte Maß von Sonnenschein und Wärme einerseits und von Wasser andererseits für das Leben von Millionen von Menschen aber auch Tieren hat. Wir erkennen aber auch daraus, daß der Wetterdienst und die Witterungskunde eine größere Bedeutung für die Gesamtheit aller Lebewesen haben, als dies wohl uns allen bisher zum Bewußtsein gekommen ist. Sonach erscheint es gerechtfertigt, auch dieser Tätigkeit der Wetterwarten vom Standpunkt eines Garten- und Ackerbauers, zu dem ich auch noch — und durchaus nicht nur der Not gehorend — geworden bin, in diesen Darlegungen zu gedenken.

Zu diesen Zwecken hat man keine hochgelegenen Warten mit Windmessern und Registrierapparaten, usw. nötig. Die Wetterwarten für die Garten-, Feld- und Waldwirtschaft müssen mitten in den Fluren und den Wäldern liegen. Ein Regenmesser, ein Maximal- und ein Minimalthermometer, offene Augen und Aufmerksamkeit auf alle Naturvorgänge reichen aus. Fast in jedem Dorf ist eine Schule, wo unter Leitung der Lehrer die älteren Schulkinder die Beobachtungen anstellen und aufschreiben können. Das habe ich in meiner langen Amtszeit allerdings noch nicht erreichen können, obgleich es ein besseres Mittel, durch diese Aufzeichnung die Kinder zur Beobachtung der Naturvorgänge anzuregen und daran die Erklärung der physikalischen Erscheinungen zu knüpfen, kaum geben dürfte. Aber ich habe immer Männer und auch Frauen gefunden, welche sich mit Eifer und Pflichttreue an unseren Arbeiten beteiligten und allen diesen meinen Mitarbeitern möchte ich auch an dieser Stelle meinen Dank aussprechen. Unsere Jahrbücher und Dekaden-Monatsberichte zeigen am besten, welche Unterstützung ich in allen Kreisen des engeren Vaterlandes gefunden habe. Auch während der Kriegszeit

haben fast alle Stationen trotz der schwierigen Verhältnisse die Beobachtungen weitergeführt. Von 300 Stationen erhalten wir jetzt nach Ablauf eines jeden Monatsdrittels (Dekade, vom 1. bis 10., 11. bis 20., 21. bis zum letzten Montag) die Regenmengen, nur wenige Stationen fehlen, darunter leider eine der ältesten Stationen.

Wir können daher nach je 10 Tagen die Niederschlagsmengen in den einzelnen Teilen des Landes übersehen. Aus den uns übermittelten Zahlen leiten wir die Durchschnitte für 54 Flußgebiete ab. Diese sind durch die Natur gegeben, während die sonst bei der Statistik eingeführten Verwaltungsbezirke auf reinen Zufälligkeiten beruhen. Letztere werden vielfach abgeändert und es ist sicher, daß sich die Naturvorgänge nicht um die Grenzen der Amtshauptmannschaften usw. kümmern.

Die Dekadenergebnisse wurden zur Herstellung der graphischen Darstellungen im Bild 32 verwendet, aber es mußten die 54 Flußgebiete in die 4 Hauptgebiete:

- die westlichen Flußläufe (Weiße Elster, Pleiße usw.),
- das Muldengebiet,
- das Elbgebiet,
- die östlichen Flußläufe (Spree, Röder usw.)

zusammengefaßt werden.

Zuerst wurden die aus langjährigen Beobachtungen sich ergebenden Normalsummen für eine jede Dekade aufgetragen und es wurden diese Flächen durch gekreuzte Linien kenntlich gemacht. Die Dekadensummen, welche die Normalsummen übertrafen, also übernormal waren, wurden nach oben aufgetragen. Die vollständig schwarz ausgefüllten Teile dieser Säulen lassen also ohne weiteres die zuviel gefallenen Wassermengen ablesen. Die normalen und unternormalen Dekadensummen wurden nach unten abgetragen und durch horizontale Schraffierung kenntlich gemacht.

Tabelle 1. **Übernormale, normale und unternormale Dekadensummen der Niederschlagshöhen.**

Flußgebiete	Übernormal			Normal und unternormal				Größe und kleinste Mengen
	Anzahl	Über 50 mm		Anzahl	Unter 5 mm			
		Anzahl	Max.		Anzahl	2—4	0—1	
1914:								
Westflüsse . . .	17	2	79	19	7	5	2	Jl II, 79 — Sp II, 51 — Fb I, 0 — Sp I, 0
Mulde	16	2	79	20	6	4	2	Jl II, 79 — Sp II, 60 — Fb I, 0 — Sp I, 1
Elbe	14	1	52	22	7	3	4	Sp II, 52 — Fb I, 0 — Ap II, 1 — Ap III, 1 — Sp I, 0
Ostflüsse	20	1	51	16	8	5	3	Sp II, 51 — Fb I, 0 — Sp I, 0 — No III, 1
1915:								
Westflüsse . . .	20	2	73	16	4	4	—	Mz I, 73 — Oc I, 55
Mulde	19	2	92	17	2	2	—	Mz I, 92 — Oc I, 73
Elbe	17	1	76	19	5	4	1	Sp I, 76 — Jn I, 1
Ostflüsse	18	4	90	18	3	2	1	Mz I, 69 — Au II, 72 — Sp I, 86 — Oc I, 90 — Jn I, 1
1916:								
Westflüsse . . .	15	1	53	21	1	1	—	Jn II, 53
Mulde	17	5	69	19	1	1	—	Ja I, 54 — Mi III, 63 — Jn II, 69 — Jn III, 58 — De III, 51
Elbe	20	3	70	16	1	1	—	Mi III, 70 — Jn II, 68 — Jn III, 53
Ostflüsse	23	3	65	13	1	1	—	Ja I, 52 — Jn II, 65 — Jn III, 51
1917:								
Westflüsse . . .	11	2	52	25	7	6	1	Ja I, 52 — Au III, 52 — Jn II, 1
Mulde	15	2	74	21	5	4	1	Ja I, 74 — Jl I, 62 — Jn I, 1
Elbe	15	1	53	21	4	3	1	Ja I, 53 — Jn II, 0
Ostflüsse	14	3	64	22	3	2	1	Ja I, 51 — Jl I, 52 — Au II, 64 — Jn II, 0

Monats- und Jahressummen der Niederschlagshöhen.

Tabelle 2.

	Jl	Au	Sp	Oc	No	Dc	Ja	Fb	Mz	Ap	Mi	Jn	Jahr
I. Westliche Flüsse:													
1913/14	59	128	27	40	54	92	41	17	76	24	105	70	733
14/15	158	37	71	69	28	46	77	25	128	72	29	38	778
15/16	70	92	55	80	42	62	68	47	31	49	60	123	779
16/17	62	64	60	37	24	74	87	15	52	81	60	36	652
17/18	67	109	25	49	41	25	46	41	24	54	22	56	559
Mittel	83	86	48	51	38	60	64	29	62	56	55	64	700
Normal	83	71	50	54	51	48	33	38	51	47	62	83	671
II. Die Muldengebiete:													
1913/14	81	139	36	31	75	129	57	19	99	28	109	70	873
14/15	143	40	85	86	34	57	92	30	158	84	40	38	887
15/16	80	85	89	98	75	74	107	59	26	64	90	159	1006
16/17	88	73	72	48	32	83	112	23	89	100	62	28	810
17/18	101	99	32	60	49	39	51	60	30	56	25	51	653
Mittel	99	87	63	65	53	76	84	38	80	60	65	69	846
Normal	87	75	55	59	56	53	38	45	58	51	67	89	731
III. Das Elbgebiet:													
1913/14	59	124	44	25	72	106	45	20	88	22	72	79	756
14/15	83	26	68	72	27	58	55	14	80	77	29	44	633
15/16	70	82	126	92	75	64	99	60	33	41	104	157	1003
16/17	74	69	47	45	37	69	91	25	51	67	43	16	634
17/18	85	89	25	57	35	42	52	50	27	62	19	48	597
Mittel	74	78	62	58	49	68	68	34	56	54	53	69	723
Normal	82	70	49	53	49	46	31	36	49	45	60	81	651
IV. Die östlichen Flüsse:													
1913/14	72	136	48	20	75	95	40	18	99	24	78	71	776
14/15	99	19	70	61	27	64	75	21	111	71	32	37	687
15/16	70	120	147	99	86	64	111	61	35	40	71	154	1058
16/17	74	90	58	56	46	66	82	24	59	79	39	18	691
17/18	81	119	29	54	35	44	56	52	26	70	30	47	643
Mittel	79	97	70	58	54	67	73	35	66	57	59	65	771
Normal	80	67	47	51	46	43	29	33	46	44	58	79	623

In diesen Darstellungen fallen zuerst die langen Säulen auf, welche Dekadensummen von mehr als 50 mm oder Litern auf einen Quadratmeter angeben. Man hat hierbei zu bedenken, daß diese Zahlen sich auf Flächen von Tausenden von Quadratkilometern beziehen, also ganz enorme Wassermengen bedeuten. 50 Liter auf einen Quadratmeter entsprechen 50 000 Kubikmeter auf einen Quadratkilometer. Diese großen Mengen kommen im Jahr glücklicherweise nur selten vor. Am häufigsten waren sie 1916, am seltensten 1914. Aber sie treten auch nicht stets im ganzen Land auf. Im Jahr 1916 hatten die Mulden 5, die westlichen Flüsse, also die Weiße Elster, nur eine derartige Dekade. Etwas häufiger, aber glücklicherweise nur selten, kom-

men die Dekaden mit nur geringem oder gar keinem Niederschlag vor. Am seltensten waren die Dekaden mit weniger als 5 mm im Jahr 1916, am häufigsten 1914. Diese Verhältnisse führt die Tabelle 1 vor die Augen.

Im Jahr 1917 waren in allen vier Flußgebieten die unternormalen Dekaden wesentlich häufiger als die übernormalen. In den anderen Jahren traten diese Unterschiede nicht so klar hervor, es kommt aber hierbei ein bemerkenswerter Unterschied zwischen dem Westen und dem Osten des Landes zum Vorschein.

In der Tabelle 2 wurden die Monats- und Jahressummen des Niederschlages vom 1. Juli 1913 bis 30. Juni 1918 zusammengestellt. Die Jahres-

Tabelle 3.

Zahl der monatlichen (jährlichen) Sonnenscheinstunden in Dresden (Wahnsdorf).

Monat (Jahr)	Stunden mit Sonnenschein					Prozente der möglichen Stunden					Mögliche Stunden
	1913/14	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	1913/14	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	
Juli	143	175	220	152	240	29	35	44	31	49	495
August	190	236	119	152	179	42	53	27	34	40	449
September	170	174	130	125	185	45	46	34	33	49	379
Oktober	131	56	33	91	76	39	17	10	27	23	332
November	54	58	39	47	51	20	22	14	18	19	267
Dezember	24	42	31	35	38	10	17	13	14	16	246
Januar	37	34	31	43	48	14	13	12	17	19	261
Februar	96	72	61	57	93	35	26	21	22	33	278 (289)
März	97	72	92	88	126	26	20	25	24	34	366
April	180	127	156	88	119	44	31	38	27	29	413
Mai	169	280	224	276	271	35	58	47	57	57	480
Juni	196	308	162	339	232	40	63	33	69	47	493
Jahr	1487	1634	1298	1493	1658	33	37	29	33	37	4459

summen beziehen sich auf die Zeit vom 1. Juli eines Jahres bis zum 30. Juni des folgenden. Es wurden die Normalwerte angegeben und durch Kursiv-Ziffern die Monate mit zu geringer Niederschlagsmenge kenntlich gemacht. Als Hauptergebnis tritt hervor, daß im Mittel der fünf Jahre mehr Wasser gefallen ist, als nach den langjährigen Messungen erwartet werden dürfte.

Den geringsten Überschuß 29 mm (4 %) hatten die westlichen, den größten 149 mm (24 %) die östlichen Flüsse. Bei den Mulden stellte er sich auf 115 mm (16 %), bei der Elbe auf 72 mm (11 %). Im Westen waren 6, im Osten aber nur 3 Monate unternormal. Der Januar hatte in allen Jahren und im ganzen Lande wesentlich zu große Niederschlagsmengen, der Juni war viermal zu trocken, hatte dafür aber 1916 wesentlich zu große Regenmengen. Der Westen und die Elbe hatten 2, die Mulden 1, der Osten aber kein zu trockenes Jahr. Am regenreichsten war das Jahr 1915/16.

Ohne Wasser ist kein Leben möglich, aber auch nicht ohne Wärme und Sonnenschein. In den trüben und regnerischen Jahren fehlt der Sonnenschein und bleibt es deshalb kalt. In wolkenarmen und trockenen Jahren kann aber leicht ein Zuviel von Sonnenschein und Wärme das Leben töten.

1914:	Fb II, 64 %	— Ap II, 51 %	— Ap III, 52 %	—	5
	Au II, 60 %	— Sp I, 71 %			2
	Ja I, 4 %	— Fb III, 5 %			
1915:	Mi I, 63 %	— Mi III, 68 %	— Jn I, 74 %	— Jn II, 70 %	5
	Jl III, 51 %				3
	Ja III, 8 %	— Oc I, 5 %	— De III, 5 %		1
1916:	Mi I, 54 %				4
	Ja I, 8 %	— Ja II, 8 %	— Mz I, 6 %	— De I, 6 %	
1917:	Mi I, 59 %	— Mi III, 66 %	— Jn I, 67 %	— Jn II, 83 %	7
	Jn III, 57 %	— Jl II, 58 %	— Sp III, 54 %		2
	Ja I, 8 %	— De III, 4 %			3
1918 bis Juni:	Mi II, 60 %	— Mi III, 61 %	— Jn I, 65 %		1
	Ja I, 7 %				

Mehr als 83 % und weniger als 4 % Sonnenstunden sind in keiner Dekade aufgetreten, wobei noch hinzuzufügen ist, daß die Sonnenscheibe länger sichtbar ist, als es unsere Apparate angeben.

Die Eigentümlichkeiten der Temperaturverhältnisse lassen sich in den großen Zügen aus den Beobachtungen an einer Stelle des Landes erkennen. Man muß aber dabei immer daran denken, daß die Temperatur stark von der

Tabelle 4.

Absolute Temperaturextreme in Dresden (Wahnsdorf).

	Das Thermometer									
	stieg mindestens einmal bis					sank mindestens einmal auf				
	1913/14	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	1913/14	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18
Juli	+ 28°	+ 31°	+ 31°	+ 27°	+ 32°	+ 8°	+ 11°	+ 9°	+ 10°	+ 9°
August	29	33	29	28	31	7	9	8	8	11
September	26	30	23	24	28	5	1	1	2	6
Oktober	23	18	18	20	25	— 1	2	— 3	— 3	— 1
November	16	17	13	16	13	— 1	— 5	— 10	— 6	— 2
Dezember	14	16	18	11	9	— 5	— 5	— 8	— 7	— 13
Januar	9	11	13	9	12	— 16	— 11	— 2	— 16	— 11
Februar	13	10	11	5	11	— 7	— 8	— 10	— 21	— 11
März	17	18	18	9	17	— 1	— 11	— 2	— 13	— 7
April	24	22	22	14	21	0	— 2	0	— 2	— 1
Mai	27	27	28	27	30	— 1	+ 1	+ 3	0	+ 2
Juni	28	34	29	32	27	+ 6	4	6	+ 9	3
Jahr	29	34	31	32	32	— 16	— 11	— 10	— 21	— 13

Diese beiden uns so nötigen Einwirker stehen sich sonach feindlich entgegen, und das Gedeihen aller Lebewesen an der Erdoberfläche hängt davon ab, daß der richtige Einwirker zur richtigen Zeit und in dem richtigen Maß auftritt.

Die Grundursache alles Lebens ist die Sonnenstrahlung und von ihrer Dauer und Stärke hängt alles ab. Die Zeit, während deren die Sonne bei wolkenlosem Himmel scheinen kann, hängt von der Jahreszeit und der geographischen Breite ab, sie wurde auf Bild 32 zuerst aufgetragen und durch Kreuzung hervorgehoben. Die Säulenlängen bedeuten die Zahl der Stunden, während deren in einer Dekade Sonnenschein möglich ist. Durch die schwarzen Säulen wurde dann die Zahl der Stunden angegeben, während deren die Papierstreifen der Sonnenscheinautographen (Bild 8) deutlich gebräunt worden waren. In Tabelle 3 wurden die Monats- und Jahresresultate, und zwar wieder vom 1. Juli 1913 bis 30. Juni 1918 zusammengestellt. Danach war das sonnenreichste Jahr 1917/18 mit 1658, das ärmste 1915/16 mit 1298 Sonnenstunden. Die erste Zahl entspricht aber immer noch nur 37 % der möglichen Sonnenstunden, die letztere 29 %. Auf 69 % brachte es der Juni 1917, und es folgen dann mit 63 % der Juni 1915, 58 % der Mai 1915, 57 % der Mai 1917 und 1918. 53 % hatte der August 1914, alle anderen Monate weniger als 50 %.

Die besonders sonnenscheinreichen oder -armen Dekaden sind aus Bild 32 zu ersehen und es läßt sich auch aus dieser graphischen Darstellung das Verhältnis der wirklichen zu den möglichen Sonnenstunden abschätzen. Als Dekaden mit mehr als 50 % Sonnenstunden einerseits und weniger als 10 % andererseits findet man

Höhenlage beeinflußt wird. Für je 100 m größere Höhe wird man je nach der Jahres- und Tageszeit eine um 0.4° bis 0.8° C tiefere Temperatur zu rechnen haben.

Im Bild 32 wurden die Temperaturverhältnisse in Dresden (Wahnsdorf) folgendermaßen dargestellt. Es wurden zuerst die Dekadenmittel aus den höchsten und tiefsten an den Dekadentagen beobachteten Temperaturen aufgetragen und durch Linien verbunden. So entstanden die zwei Kurven im Bild 32, welche man als die Bewegung der täglichen Maximen und Minimen auffassen kann. In diesen Kurven ist die Zickzackbewegung, welche die Darstellung der Tageswerte stets erkennen läßt, ausgeglichen. Die in den Dekaden aufgetretenen höchsten und tiefsten Stände des Thermometers wurden dann durch schwarze Kreise angegeben, die im Bild als Punkte erscheinen. Diese leichtverständlichen Darstellungen lassen die Eigentümlichkeit des Jahres 1916 klar erkennen, es zeichnete sich weder durch sehr hohe, noch durch sehr tiefe Temperaturen aus. Diese Temperaturen erreichten + 30° nicht, sanken aber auch nicht unter — 10° herab.

In den Tabellen 4 und 5 wurden wieder die Monats- und Jahresresultate zusammengestellt. Die in der Tabelle 5 angegebenen Normalwerte beziehen sich auf eine Höhenlage von ungefähr 200 m. Kursiv wurden hier die Fälle gedruckt, in denen die Monatsmittel unternormal waren. Die fetten Zahlen heben die höchsten Monatsmittel in den fünf Jahren hervor. Man erkennt aus Tabelle 5, daß nur das Jahr 1916/17 zu kalt war, 1917/18 fast normal, die anderen Jahre aber zu warm. Ganz auffallend sind die Vorgänge während der ersten Monate des Jahres 1917. Das Monatsmittel der Nachmittags-temperaturen des Mai ist 12° höher als das des April, während normal nur ein Anstieg von 5° zu erwarten war.

Tabelle 5.

Mittlere Temperaturextreme in Dresden (Wahnsdorf).

	Das Monats-(Jahres-)mittel war										Langjährige Mittelwerte	
	aus den Temperaturen um Sonnenaufgang					aus den Temperaturen am Nachmittag					früh	nachm.
	1913/14	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	1913/14	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18		
Juli	+ 12.0°	+ 14.9°	+ 13.2°	+ 13.7°	+ 12.8°	+ 20.9°	+ 24.5°	+ 23.7°	+ 21.7°	+ 22.9°	+ 12.9°	+ 22.5°
August	11.7	13.3	12.8	12.7	13.6	21.3	25.8	21.9	22.3	23.0	12.1	21.5
September	9.7	9.6	8.3	8.0	10.5	19.7	19.7	17.7	17.4	20.4	9.4	18.7
Oktober	6.7	6.4	4.7	5.5	4.7	15.3	12.6	9.8	12.1	12.5	4.9	11.8
November	4.9	2.6	0.1	2.1	1.8	10.8	8.0	4.8	7.7	7.7	0.7	5.7
Dezember	1.5	2.1	+ 1.2	0.2	- 4.6	5.6	7.2	7.9	4.9	0.3	- 3.0	1.5
Januar	- 5.6	- 0.7	+ 2.3	- 6.8	- 2.8	0.4	3.9	7.5	- 0.7	4.2	- 3.6	1.5
Februar	- 0.3	- 0.7	- 2.2	- 8.3	- 2.2	6.2	5.1	4.1	- 1.6	4.6	- 2.5	3.3
März	- 2.8	- 0.7	+ 2.1	- 4.5	+ 0.2	9.6	5.5	9.7	+ 2.1	8.4	0.9	6.0
April	5.3	+ 3.3	4.8	+ 0.8	+ 5.4	16.8	13.2	14.5	7.7	15.0	+ 3.3	12.1
Mai	7.8	8.1	9.0	9.0	8.1	17.5	20.4	20.2	19.8	19.1	7.1	17.0
Juni	11.1	12.1	10.6	13.5	8.2	21.6	26.3	19.2	25.2	18.5	11.0	20.5
Jahr	5.6	5.9	5.6	3.8	4.6	13.8	14.4	13.4	11.6	13.1	4.3	11.8

Tabelle 6. Zusammenstellung der Jahresergebnisse.

Jahr	1913/14	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	Normal
Niederschlag in Millimetern (Abweichungen von dem Normalwerte)						
Westflüsse	+ 62	+ 107	+ 108	- 19	- 112	671
Mulden	+ 142	+ 156	+ 275	+ 79	- 78	731
Elbe	+ 105	- 18	+ 352	- 17	- 17	651
Ostflüsse	+ 153	+ 64	+ 435	+ 68	+ 20	623
Temperaturen in Celsiusgraden (Abweichungen der Mittel von den Normalwerten)						
Höchste Nachmittags-Mittel	29	34	31	32	32	11.8
Nacht-Mittel	+ 2.0	+ 2.6	+ 1.6	- 0.2	+ 1.3	4.3
Tiefste	- 16	- 11	- 10	- 21	- 13	
Sonnenscheinstunden	33%	37%	29%	33%	37%	4459

Die Zusammenstellung der Jahresergebnisse in Tabelle 6 läßt für den Niederschlag und die Temperatur die Abweichungen von den Normalwerten übersehen. Danach haben wir im Mittel keinen Mangel sowohl an Wasser als auch an Wärme gehabt. Nur die Fehlbeträge an Regen im letzten Jahr können von Bedeutung gewesen sein. Zu kalt war nur das Jahr 1916/17 hauptsächlich wegen des strengen Winters, alle anderen Jahre waren zu warm. 1915/16 hatte den wenigsten Sonnenschein.

Aber ein Jahr ist lang und es können recht leicht zwei Jahre genau dieselben Jahresergebnisse liefern, trotzdem aber recht verschieden verlaufen sein. Dasselbe gilt auch von den Monaten und schließlich auch von den Dekaden. Wenn es sich darum handelt, irgend welche Vorgänge in der Natur durch die Witterungsvorgänge zu erklären, so wird es immer am besten sein, hierzu die täglichen Beobachtungen heranzuziehen. In allen Pentaden-, Dekaden- und Monatsmitteln werden wichtige Vorgänge verschwinden können; diese Mittel sind eben nur ein Notbehelf zur Ersparung von Arbeit. Es können die auf eine Erscheinung wirkenden Ursachen lange Zeit günstig sein und trotzdem kann diese günstige Wirkung vernichtet werden, wenn während der wichtigsten Zeit einige Tage mit besonders ungünstigen Verhältnissen auftreten.

Das beste Mittel der Forschung wird stets die graphische Darstellung bleiben, die man von möglichst vielen Stationen herstellen sollte. Die Art der Darstellung kann so wie im Bild 32 geschehen und reicht aus. Für Wahnsdorf liegen mir derartige graphische Darstellungen seit dem 1. September 1916 vor, sie enthalten durch Säulen die Sonnenscheinstunden, Regenhöhen und Schneetiefen, durch Linien den Gang der höchsten und tiefsten Temperaturen und des Wasserstandes in dem 15 m tiefen Brunnen. Aus ihnen ergibt sich die folgende Witterungsgeschichte.

Der September 1916 machte die Gemüter durch die nur mäßige Kartoffelernte besorgt. Die vorjährige Ernte mußte sehr gut ausgefallen sein, da

man während des ganzen Sommers genügend Kartoffeln im Ort erhalten konnte. Als Ursache wurde die Nässe angegeben. Tabelle 2 lehrt, daß allerdings der Mai und Juni im Elbgebiet sehr bedeutende Regenmengen geliefert hatten, der Juli und August aber eher zu wenig als zu viel. Die Temperaturen waren vom Mai bis August nahezu normal gewesen, allerdings zeigten die Tagestemperaturen (Maximen) im Mai und Juni und die Nachttemperaturen des Juni geringe Fehlbeträge, die anderen waren aber eher übernormal. Sonnenscheinstunden gab es im Mai 57 %, Juni 69 %, Juli 49 %, August 40 %. Der September 1916 brachte an 29 Tagen 125 Sonnenscheinstunden (☉) und an 16 Tagen 38 mm Regen. Über 1 mm fielen nur an 4 Tagen, und zwar am letzten Tag des Monats 25 von den 38 mm der ganzen Monatsmenge. Vollständige Trockenheit herrschte hintereinander an 9 Tagen. Trotz des sonnigen Wetters war der Monat um 1.3° zu kalt. In der ersten Dekade stiegen die Tagestemperaturen bis zu 23°, dasselbe fand in der dritten Dekade statt, in der zweiten traten aber sehr kalte Tage mit nur 11° Tages- und 2° Nachttemperatur auf.

Der Oktober 1916 brachte an 27 Tagen 91 ☉, an 11 Tagen 41 mm Regen, wobei an 8 Tagen mehr als je 1 mm fielen. Die größte Tagesmenge war 7 mm. Der Monat war ungefähr 1/2° zu warm. Er begann mit kalter Witterung, in der Nacht ging das Thermometer bis zum Eispunkt herab, dann traten mehrere warme Tage mit hohen Nachttemperaturen und Tagestemperaturen bis zu 20° ein. Von Monatsmitte an ging die Temperatur rasch herab, am Tage stieg um den 20. herum das Thermometer auf nur 3° und sank in der Nacht auf - 3°, worauf dann bis zum Monatschluß wieder eine starke Erwärmung bis zu 16° Maximum eintrat.

Der November 1916 brachte an 19 Tagen 47 ☉ und an 16 Tagen 32 mm Niederschlag. An 13 Tagen fielen mehr als 1 mm, die größte Tagesmenge betrug 5 mm. Der Monat war 1.5° zu warm, es traten in ihm aber bereits 2 Nachtfrostperioden bis zu - 6° auf und am 20. bildete sich eine rasch verschwindende Schneedecke von 2 cm Tiefe.

Der Dezember 1916 brachte an 12 Tagen 35 ☉ und an 20 Tagen 45 mm Schnee und Regen. An 15 Tagen fiel mehr als 1 mm, die beiden letzten Tage waren durch starke Regenfälle von 13 und 10 mm ausgezeichnet. Schneedecke bis zu 6 cm wurde in der dritten Dekade an 3 Tagen notiert. Der Monat war mehr als 3° zu warm, es stieg an einem Tage das Thermometer über + 10°, es trat aber auch die 4. Nachtfrostperiode bis zu - 8° auf. Die Tagestemperaturen blieben stets über Null.

Der Januar 1917 brachte an 12 Tagen nur 43 ☉, aber an 21 Tagen 68 mm Schnee und Regen. An 16 Tagen fiel mehr als je 1 mm, zweimal gingen die Tagesmengen etwas über 10 mm hinaus. Die reichlichen Regenfälle um den Beginn des Jahres führten dem Erdboden so viel Wasser zu, daß im Brunnen der Wasserspiegel in 4 Tagen von 5.5 m auf 10.3 m anstieg. Am Anfang des Monats lagen die Temperaturen noch hoch über dem Eispunkt, das Thermometer stieg am Tage bis nahezu 10° und sank in der Nacht nur auf + 4°. Es trat aber rasch eine Abkühlung ein, am 5. setzte schon Nachtfrost ein, am 14. zeigte das Thermometer zum letzten Male 0° und erreichte diese Temperatur erst am 11. Februar wieder. In der letzten Dekade sank das Thermometer bis zu - 17°, der Monat war um 2 bis 3° zu kalt. Es hatte dies zur Folge, daß die reichlichen Niederschläge eine Schneedecke hervor-

brachten, welche vom 10. Januar bis 25. Februar anhielt und über 20 cm Tiefe erreichte.

Der Februar 1917 brachte an 15 Tagen 57 ☉ und an 17 Tagen nur 26 mm Schnee. Über 1 mm fiel an 10 Tagen, die größte Tagesmenge war 5 mm. Der Monat war 4 bis 5° zu kalt. Vom 11. an lagen die Tagestemperaturen über Null, es herrschte aber stets Nachtfrost bis zu -10° C. Die Tagestemperaturen über Null verminderten die Schneedecke rasch. Der Wasserstand im Brunnen, welcher während der Frostperiode von 10 m auf 7 m herabgegangen war, stieg wieder rasch bis zu 9 m an.

Der März 1917 brachte an 21 Tagen 88 ☉ und an 16 Tagen 32 mm Niederschlag. Mehr als 1 mm fiel an 8 Tagen, die größte Tagesmenge war 7 mm. Diese bildete wieder eine allerdings nur 4 Tage anhaltende 20 cm tiefe Schneedecke. In der letzten Dekade lagen dann wieder 2 Tage lang 2 bis 3 cm Schnee. Der Monat war 3,5° zu kalt, die erste Dekade brachte die letzte stärkere Frostperiode, dann traten Tagestemperaturen über Null bis zu +9° auf, es herrschte aber andauernd Nachtfrost bis zu nahe -10°.

Der April 1917 brachte an 24 Tagen 88 ☉ und an 14 Tagen 44 mm Regen. Mehr als 1 mm fiel an 10 Tagen, die größte Tagesmenge war 11 mm. Der Wasserstand im Brunnen war fast auf 11 m gestiegen und hielt sich während des ganzen Monats auf dieser Höhe. Der Monat war zwar 3 bis 4° zu kalt, schwacher Nachtfrost trat aber nur an etwa 5 Tagen ein.

Der Mai 1917 brachte an 30 Tagen 276 ☉ und an 10 Tagen 33 mm Regen. Mehr als 1 mm fiel an 5 Tagen. In der Mitte des Monats gab es zwei hintereinanderfolgende Tage mit je 10 mm und am Ende einen mit 7 mm Tagesmenge. Sonst kamen nur 2 Tage mit etwa 2 mm Ergiebigkeit vor. Regenlose Zeiten hintereinander währten bis zu 10 Tagen. Die Gartenbewässerung verminderte den Wasserstand im Brunnen rasch von 11 m auf 7 m. Die Thermometer stiegen rasch an und gingen dreimal über 25° bis zu 27° hinaus, sanken allerdings auch zweimal auf Null. Der Monat war 2 bis 3° zu warm.

Da erwachte die Natur aus ihrem Winterschlaf. Der Wald wurde rasch grün. Am 12. Mai standen die Obstbäume wie mit einem Schlag im vollen Blütenschmuck. Beerenobst war dicht mit Blüten besetzt und massenhaft hingen die Blüten an den ausgedehnten Erdbeerkulturen. Das dicke Wintergetreide wuchs zusehends und stand am Ende des Monats in voller Blüte. Das Sommergetreide entwickelte sich langsam, aber gut.

Aber die Kartoffeln! Wie oft bin ich um die Mittagszeit durch die Dörfer unseres Erzgebirges gegangen. Um den Tisch saßen viel Menschen, groß und klein. Es wurde ein Topf Kartoffeln auf den Tisch geschüttet, daneben

stand ein Salzfaß und eine Kanne sogenannten Kaffees. Sie alle aßen, wurden satt und kräftig. Etwas besser sah es in anderen Gegenden aus. Da stand auch eine Schüssel Quark und in dessen Mitte Leinöl. Wenn es auf Kapri mit frischem Olivenöl zubereitete Kartoffeln gab, habe ich alles andere liegen lassen und mich nur an die Kartoffeln gehalten. Wie oft bin ich empört gewesen, wenn die vornehmen Herren und Damen das Fleisch aßen und die zwei oder drei beiliegenden kleinen Kartoffeln liegen ließen. Was sind jetzt die Kartoffeln für uns?

Und da standen während des ganzen Mai 1917 die Kartoffelfelder sauber zubereitet, aber es fehlte an Saatgut. Da entstand die bange Frage, wann und wie wird die Ernte werden?

Da machte ich mir aus dem Heft 6 des „Klima von Sachsen“ die Auszüge in den Tabellen 7 und 8. Die Beobachtungen, auf denen Tabelle 7 beruht, rühren von Forstbeamten her. 15 bis 18 Jahre lassen schon recht brauchbare Ergebnisse ableiten. Diese Tabelle beruhigte schon wesentlich. In Hubertusburg erscheint die Ähre des Winterroggens durchschnittlich am 15. Mai, die Blüte tritt am 3. Juni ein. 1917 blühte er aber bei uns schon Ende Mai, eine Verzögerung war also nicht eingetreten. 1867 blühte die Gerste am zeitigsten, die Ernte fand aber am spätesten statt, warum sollte es also nicht auch einmal umgekehrt sein? Allerdings kann man aus diesen Beobachtungen nicht ersehen, welchen Einfluß die Vegetationszeit auf Quantität und Qualität der Ernte hat. Leider fehlt in Tabelle 7 die Kartoffel; warum man diese vergessen hat, ist mir nicht recht verständlich. Sie erscheint aber in Tabelle 8. Danach wird in 100 m Höhe die Kartoffel am 22. April gelegt, sie läuft am 10. Mai auf, die Blüte tritt am 1. Juli ein und die Ernte findet am 22. September statt. Durch größere Höhenlage werden diese Zeiten verzögert, und zwar für je 100 m um 2 bis 4 Tage. In unserem Gebirge werden also alle diese Erscheinungen einen Monat später eintreten.

Leider beruht die Tabelle 8 nur auf fünf- bis siebenjährigen Beobachtungen. Ich hatte damals an Landwirte Karten der nachstehenden Art für Feldpflanzen, Wiesengräser und auch für die Obstarten ausgegeben. 1897 verlor ich aber den Mut, die Sache weiterzuführen, da ich in den Kreisen, die derartige Forschungen eigentlich hätten unterstützen sollen, einen mir gänzlich unbegreiflichen Widerstand fand. Die phantasievollen Vertreter der *scientia amabilis* werden sich mit den nüchternen Rechnern allerdings nie zusammenfinden können. Welches reiche Material hätte man in 20 Jahren noch zusammentragen und nach allen Richtungen hin verarbeiten können!

Kurz vor dem Kriege wollte man das Versäumte mit aller Gewalt nachholen. Da sollte ein jedes Feld mit Apparaten aller Art umstellt werden.

Tabelle 7.

Vegetationstermine für einige Feldfrüchte.

Ort und Frucht 1864/83	Höhe	Erscheinung	Zahl der Beobachtungs-Jahre	Mittel	Am zeitigsten		Am spätesten	
					Tag	Jahr	Tag	Jahr
Winterroggen Hubertusburg	180 m	Aussaat	17	4. Oktober	20. September	1881	15. Oktober	1874
		Auflaufen	17	21. Oktober	1. Oktober	1881	4. November	1874
		Ähre	18	15. Mai	29. April	1876	1. Juni	1875
		Blüte	18	3. Juni	21. April	1878	1. Juli	1870
		Reife	18	22. Juli	10. Juli	1880	10. August	1871
		Ernte	18	25. Juli	25. Juli	14. Juli	1880	12. August
Sommerroggen Reitzenhain	772 m	Aussaat	17	14. April	24. März	1871	26. April	1864
		Auflaufen	17	3. Mai	16. April	1876	15. Mai	1870
		Ähre	17	19. Juni	10. Juni	1869	30. Juni	1871
		Blüte	16	11. Juli	26. Juni	1868	21. Juli	1864
		Reife	15	8. September	20. August	1876	5. Oktober	1882
		Ernte	17	12. September	12. September	29. August	1868	5. Oktober
Hafer Zwenkau	131 m	Aussaat	17	9. April	15. März	1880	26. April	1867
		Auflaufen	16	25. April	30. März	1880	17. Mai	1873
		Ähre	16	22. Juni	2. Juni	1870	6. Juli	1867
		Blüte	17	1. Juli	1. Juni	1880	16. Juli	1871
		Reife	17	29. Juli	16. Juli	1872	26. August	1866
		Ernte	17	13. August	13. August	28. Juli	1872	3. September
Gerste Zwenkau	131 m	Aussaat	16	21. April	15. März	1880	18. Mai	1871
		Auflaufen	16	3. Mai	30. März	1880	3. Juni	1871
		Ähre	16	18. Juni	3. Juni	1867	28. Juni	1871
		Blüte	15	22. Juni	4. Juni	1867	2. Juli	1864
		Reife	16	20. Juli	5. Juli	1874	10. August	1867
		Ernte	16	3. August	3. August	20. Juli	1868	21. August

Tabelle 8.

Abhängigkeit der Vegetationstermine von der Höhenlage.

Ergebnisse fünf- bis siebenjähriger Beobachtungen 1891/97	Gerste		Hafer		Kartoffel		Winterroggen		Winterweizen	
	In 100 m Höhe	Verzög. durch 100 m	In 100 m Höhe	Verzög. durch 100 m	In 100 m Höhe	Verzög. durch 100 m	In 100 m Höhe	Verzög. durch 100 m	In 100 m Höhe	Verzög. durch 100 m
Aussaat	14. April	3.42	7. April	3.15	22. April	2.36	27. September	1.78	28. September	1.25
Auflaufen	27. April	0.39	19. April	1.87	10. Mai	3.82	3. Oktober	0.41	15. Oktober	1.99
Ähre	13. Juni	4.24	21. Juni	3.88			6. Mai	4.77	9. Juni	3.23
Blüte	22. Juni	3.47	30. Juni	3.83	1. Juli	3.60	27. Mai	4.93	18. Juni	3.53
Ernte	29. Juli	5.69	5. August	6.28	22. September	2.16	15. Juli	6.86	1. August	5.74
Saat bis Auflaufen .	13	0.11	12	0.06	21	2.48	15	1.24		
Saat bis Ähre	59	0.82	73	0.52			215	6.21	254	1.98
Saat bis Blüte	70	0.20	82	0.76	87	1.60	234	6.56	258	3.13
Saat bis Ernte	103	2.44	116	3.08	154	0.33	281	8.51	301	5.26
Blüte bis Ernte . . .	33	2.21	34	2.45	87	-0.78	47	1.93	42	2.22

Dabei hat man aber zweierlei vergessen. Zuerst ist die Witterung nicht nur der einzige, sondern nur einer der vielen Einwirker, von denen Wachstum und Ertrag der Felder abhängen. Zweitens wird man, wenn man ein Heer Beobachter anstellt, für ein noch viel größeres Heer von Rechnern sorgen müssen, wenn die vielen Beobachtungen wirklich nutzbar gemacht werden

sollen. Unsere Witterungsbeobachtungen reichen vollständig aus und zu dem Ausfüllen der Fragekarten wird man sicher in jedem Dorf mindestens eine befähigte Persönlichkeit — Lehrer und Schüler — finden und man wird es auch so einrichten können, daß die Zahl der Beobachter in einem richtigen Verhältnis zu den Arbeitskräften der Zentralstelle steht.

III. Phänologie der Feldpflanzen.

Ort, Lage, Seehöhe und andere Angaben:

	Tag (Datum) der bez. des				Angabe der Sorte
	Saat	Erschei- nens der Ähre	Ein- trittes der Blüte	Ernte	
Winterroggen					
Winterweizen					
Hafer					
Gerste					
Kartoffeln					
Unterschrift:					

II. Phänologie der Wiesengräser.

Ort, Lage, Seehöhe:

	Beginn der Blüte	Volle Blüte
Wiesenfuchsschwanz		
Knautgras		
Timotheegras		
Rothklee		
Sonstige Angaben namentlich bezüglich des Verlaufes der Ernte vom Mähen bis zum Einfahren.		
Unterschrift:		

Nun kam der Juni 1917 heran. Er brachte an 30 Tagen 339 Stunden Sonnenschein, an einem jeden Tag also über 11 Stunden. Regen fiel nur an 3 Tagen und ergab als Monatssumme nur 4 Millimeter. 18 Tage hintereinander fiel kein Tropfen Regen. Das Wasser im Brunnen sank auf 1.8 m, stieg aber sofort auf 2.8 m, als die Gartenbewässerung eingestellt wurde. Diesem hatte reichlich genug geschehen können. Der Monat war 3 bis 5° zu warm. Unter 10° in der Nacht fiel das Thermometer nur zweimal, an 5 Tagen stieg es über 30° und an vielen über 25°. Alle tiefwurzelnden Pflanzen fanden in der Erde noch genügend Wasser und wuchsen unter der Einwirkung der Sonne und Wärme. Aber das gut entwickelte Wintergetreide begann gelb zu werden. Die schönen Erdbeerkulturen vertrockneten vollständig, die Wiesen verbrannten, es war ein Jammer, diese Flächen anzusehen. Kirschen waren gut und reichlich vorhanden.

Am Anfang des Monats trafen endlich Saatkartoffeln ein. Ich legte am 6. Juni 3 Zentner in vollständig trockene Erde, und darin lagen sie über 3 Wochen, ohne einen Tropfen Wasser zu bekommen.

Der Juli 1917 brachte an 28 Tagen 240 ☉ und an 9 Tagen 71 mm Regen. Am 2. Juli wurden 26 mm und an zwei weiteren Tagen 16 und 14 mm gemessen. Das Wasser in dem Brunnen stieg von 2 m auf 6 m um die Mitte des Monats und konnte wieder etwas zur Gartenbewässerung verwendet werden. Die Mitteltemperatur des Monats war normal, die Nächte waren genügend warm und die Tagestemperaturen mäßig. Nur die letzten Monatstage waren sehr warm, bis zu 30°. Es war erstaunlich, was die Natur dort schaffen konnte, wo nur einigermaßen Wasser war. Die Erdbeerernte aber war verloren, die Wiesen lagen ausgebrannt da, nur an günstigen Stellen konnten sie sich etwas erholen. Die Kartoffel- und Krautfelder sahen gut aus. Erbsen und Bohnen trugen reichlich, ebenso das Beerenobst. Die Getreidernte wurde am 6. Juli begonnen, drei regenlose Zeiträume von 5, 8 und 7 Tagen begünstigten sie wesentlich. Am Ende des Monats war fast alles geborgen und meist war man mit dem Ertrag zufrieden.

Der August 1917 brachte an 28 Tagen 179 ☉ und an 17 Tagen 82 mm Regen. Mehr als 1 mm fiel an 11 Tagen, 1 Tag brachte 23 mm, und 3 hintereinanderfolgende Tage 8, 14 und 12 mm. Später trat noch 1 Tag mit 8 mm auf. Der Wasserstand im Brunnen stieg auf 9 m von 4 m am Beginn des Monats. Die Tagestemperaturen ergaben ein normales Monatsmittel, sie stiegen nur einigemal über 25°. Die Nachttemperaturen waren durchschnittlich um 1.5° zu hoch, sie sanken nie auf + 10° herab.

Der September 1917 brachte an 30 Tagen 185 ☉ und an 5 Tagen 28 mm Regen. Die größte Tagesmenge war 17 mm. Der Monat war 1 bis 2° zu warm. Die Tagestemperaturen stiegen öfters über 25°, die Nachttemperaturen blieben über 6°.

Der Oktober 1917 brachte an 23 Tagen nur 76 ☉ und an 18 Tagen 44 mm Regen. Mehr als 1 mm fiel an 11 Tagen, die größte Tagesmenge war 6 mm. Anfang September war eine 9 Tage andauernde Trockenzeit aufgetreten. Vom September bis zum Eintritt der Oktoberregen fand eine Trockenzeit von 2 Wochen statt. Die Temperatur sank anfangs sehr rasch, später

langsam und erreichte am Ende des Monats zum erstenmal wieder den Eispunkt. Ihr Verlauf war normal.

Der November 1917 brachte an 19 Tagen 51 ☉ und an 21 Tagen 32 mm Regen. Mehr als 1 mm fiel an 11 Tagen, die größte Tagesmenge war 6 mm. Der Monat war 1 bis 2° zu warm. Nachtfrost trat nur an 4 Tagen sehr schwach ein. Die Temperaturen lagen meist zwischen 0 und 10°.

Der Dezember 1917 brachte an 15 Tagen 38 ☉ und an 14 Tagen 19 mm Schnee und Regen. Mehr als 1 mm fiel an 6 Tagen, die größte Tagesmenge war 6 mm. Die Monatsmittel der Tagestemperaturen waren 1°, die der Nachttemperaturen 4° zu tief. Der Anfang des Monats war warm, es trat ein nahezu gleichmäßiges Sinken der Temperatur ein, welches in der zweiten Hälfte des Monats zu der einzigen längeren Frostperiode des Winters führte. Vom 17. bis 29. Dezember stand das Thermometer stets unter Null, die Temperaturen lagen zwischen 0 und -10°. In der ersten Hälfte des Monats hatten 5 Tage eine leichte Schneedecke von 1 bis 2 cm Tiefe. Eine stärkere Schneedecke bildete sich erst während der letzten 6 Tage des Monats, die Schneetiefe erreichte 12 cm. Der Wasserstand im Brunnen war wieder auf 4 m zurückgegangen.

So war das Jahr 1917 vergangen und der wilde Krieg hatte länger als 3 Jahre getobt. Alle Früchte, welche Feld und Garten gebracht hatten, waren geborgen und waren meist gut und reichlich ausgefallen. An Obst waren Birnen reichlich gewachsen. Bohnen und Erbsen hatten eine gute Ernte gegeben, ich erhielt aus meinem 20 Ar großen Garten ungefähr 30 Pfund grüne und gelbe Erbsen und 1 Zentner Bohnen. Die Möhren kamen bei der Trockenheit lange nicht zum Vorschein, entwickelten sich aber dann rasch und ergaben mir 2,7 Zentner schöne rote und gelbe Wurzeln. Tomaten, Kürbisse und Gurken gediehen sehr gut, ich erntete 40 Pfund Tomaten, 45 Pfund Gurken und 1 Zentner Kürbisse. Die letzteren waren mir von der Kindheit her noch bekannt, ich betrachtete sie mit gemischten Gefühlen, bedauerte es aber, als sie alle geworden waren. Die Kartoffeln entwickelten bis Ende August Blüten, die Ernte begann erst in den letzten Tagen des September und hielt noch in den Oktober hinein an. Sie war gut. 7 Ar brachten mir 27 Zentner gute und große Kartoffeln von nicht ganz 3 Zentner Aussaat. Das trockene Wetter begünstigte die Ernte und die vielfach bezweifelte Haltbarkeit der Kartoffeln. Zur Aufbewahrung konnte nur der eher etwas zu warme als zu kalte Kellerraum Nr. 10 (Fig. 2) verwendet werden. Fensterläden halten ihn dunkel, die stets offenstehenden Fenster geben einen kräftigen Luftzug. In diesem Raum haben sich die Kartoffeln bis Mitte Juli sehr gut gehalten und sie würden länger sich gehalten haben, wenn noch mehr übriggeblieben wären. Rüben und Kraut waren die Sorgenkinder. Trockenheit und Raupenfraß vernichteten die Anpflanzung von 5 Ar vollständig. Ganze Wolken von Kohlweißlingen setzten überall ihre Eier an. Gegen Ende August waren aber die Raupen wie mit einem Schlag verschwunden, was wohl der Hilfe der Schlupfwespe zu verdanken ist. So wurde das Kraut etwas gerettet, und noch im November sah man es auf den Feldern stehen. Runkelrüben waren groß, aber die Kohlrüben klein, glücklicherweise gab es genug Kartoffeln. Ich erntete ungefähr 2 Zentner Rüben und 2 Zentner Kraut aller Art. Das größte Sorgenkind waren aber die Wiesen, die noch am Jahresende meist braun von dem Sonnenbrand des Juni her dalagen. Die Wintersaatfluren hatten sich aber gut entwickelt und berechtigten zu den besten Hoffnungen.

Der Januar 1918 brachte an 18 Tagen 48 ☉ und an 25 Tagen 46 mm Schnee und Regen. Mehr als 1 mm fiel an 14 Tagen, die größte Tagesmenge war 9 mm. Die Schneedecke, welche sich im Dezember 1917 gebildet hatte, hielt bis zum 14. Januar an. Dann blieb während des ganzen Winters bis auf ganz schwache Überzüge die Erde schneefrei, und nur am 20. April lagen 3 cm Schnee einen Tag lang. Der Monat war 1 bis 3° zu warm. Während der ersten drei Tage stand das Thermometer dauernd unter Null bis zu -6°, es trat dann rasch eine Erwärmung ein, das Thermometer stieg mehrmals über +10° und sank an vielen Tagen in der Nacht nicht unter Null. Der Wasserstand im Brunnen stieg von 4 m auf nahe 8 m.

Der Februar 1918 brachte an 20 Tagen 93 ☉ und an 22 Tagen 35 mm Niederschlag. Mehr als 1 mm fiel an 10 Tagen, die größte Tagesmenge war 9 mm. Das Wasser im Brunnen, welches langsam auf 5 m herabgegangen war, stieg wieder auf 6,5 m. Der Monat war nicht ganz 1° zu warm. Am Anfang lagen die Tagestemperaturen etwas über Null, es folgte aber stets Nachtfrost. Dann trat eine starke Erwärmung bis über +10° ein, der eine starke Abkühlung bis Frost am ganzen Tage folgte, sich aber nur etwa 2 Tage halten konnte. Von der Mitte des Monats setzte eine wellenförmig fortschreitende Erwärmung nach dem Frühling hin ein.

Der März 1918 brachte an 27 Tagen 126 Stunden Sonnenschein und an 15 Tagen 20 mm Niederschlag. Mehr als 1 mm fiel an 8 Tagen, die größte Tagesmenge war 4 mm. Der Wasserstand im Brunnen sank von 6,5 m auf 4,5 m. Der Monat war rund 1° zu warm, es trat zwar an einigen Tagen Nachtfrost bis zu -6° ein, dafür stieg aber das Thermometer zweimal über +15°.

Der April 1918 brachte an 26 Tagen 119 ☉ und an 15 Tagen 52 mm Regen und Schnee. Mehr als 1 mm fiel an 10 Tagen, die größte Tagesmenge war 10 mm. Einige Regentage nach Monatsmitte erhöhten den auf 4 m herabgegangenen Wasserstand im Brunnen auf 8 m am Monatschluß. Der Monat war 2 bis 3° zu warm. Der Mitte Februar begonnene Temperaturanstieg erreichte Mitte April einen Abschluß, es stieg das Thermometer seit dem 4. Oktober 1917 zum ersten Male wieder auf +20°. Nun folgte ein starker Temperatursturz bis zu +2°, aber kein Nachtfrost, worauf sofort ein neuer Temperaturanstieg einsetzte, welcher bis zum 20. Mai anhielt.

Der Mai 1918 brachte an 29 Tagen 271 ☉ und an 7 Tagen 9 mm Regen. Mehr als 1 mm fiel an 4 Tagen, die größte Tagesmenge war 5 mm. Trockenzeiten von 6 bis 7 und 9 Tagen Dauer traten ein. Der Wasserstand im Brunnen fiel von 8 m auf 2,5 m, allerdings unter dem Einfluß der Gartenbewässerung, welche am Ende des Monats eingestellt werden mußte. Der Monat war 1° zu warm. Am 20. Mai wurden fast 30° C erreicht, worauf sofort ein Temperatursturz bis zu 12° erfolgte.

Der Juni 1918 brachte an 29 Tagen 232 ☉ und an 12 Tagen 27 mm Regen. Mehr als 1 mm fiel an 7 Tagen, die größte Tagesmenge war 5 mm. Es trat noch eine Trockenzeit von 11 Tagen Dauer auf. Der Wasserstand im Brunnen hielt sich gleichmäßig auf 3 m. Der Monat war 2 bis 3° zu kalt. Der Anfang war kühl, 13° am Tage, 4° in der Nacht. Nun fand zwar ein Anstieg der Temperatur statt, welcher kurz vor Monatsmitte 27° am Tage und 12 bis 13° in der Nacht brachte, es begann aber sofort ein Rückgang, und am Ende des Monats herrschten dieselben Verhältnisse wie zu dessen Beginn.

Der Juli 1918 brachte in 28 Tagen 208 ☉ und an 17 Tagen 154 mm Regen. Mehr als 1 mm fiel an 14 Tagen, die größten Tagesmengen waren am 3. Juli 34 mm, am 5. Juli 74 mm, sonst höchstens 7 mm. Die starken Regenfälle erhöhten den Wasserstand im Brunnen von 2,5 auf 9 m, es trat aber rasch eine Abnahme bis zu 5,5 m am Monatschluß ein. Am Anfang und Ende des Monats lag die Temperatur etwas unter der normalen, um Mitte des Monats traten aber Tagestemperaturen bis zu 30° und Nachttemperaturen bis zu 17° ein, so daß die Mittel normal ausfielen.

Wenn man die graphischen Darstellungen für das Jahr vom September 1916 bis August 1917 mit denen für das laufende Jahr bis Ende Juli 1918 vergleicht, so fällt zunächst auf, daß die Zahl der Tage mit Sonnenschein fast gleich gewesen ist. Nur im Januar, Februar und März hatten wir in dem letzten Jahr 5 bis 6 Tage mehr Sonnenschein. Sonnenscheinstunden hatten wir während der Monate September und November bis April im letzten Jahre mehr. Von Wichtigkeit ist es aber, daß während der drei Monate Mai bis Juli bei fast genau gleicher Zahl der Tage das Vorjahr 5 + 107 + 32, zusammen also 144 Sonnenscheinstunden mehr hatte. Im Juni schien 1917 die Sonne täglich über 3 Stunden länger als im Jahr 1918. Im letzten Jahre sind also mehr Trübungen des Himmels vorhanden gewesen, die Sonnenstrahlung kann durch diese auch während der Stunden mit Einwirkung auf den Papierstreifen geschwächt worden sein, und so ist es erklärlich, daß nicht derselbe Sonnenbrand wie 1917 auftrat.

Damit stehen zum Teil auch die Temperaturverhältnisse in Zusammenhang. Aber bei diesen kommt nicht nur die Sonnenstrahlung, sondern auch die Windrichtung, richtiger der Windursprung, in Betracht. In den Monaten September bis November waren beide Jahre fast gleich. Der Dezember war im Vorjahr rund 5° wärmer. Dagegen waren die Monate Januar bis April 1917 um 5 bis 7° kälter als 1918. Mai und Juli waren wieder in beiden Jahren fast gleich, der Juni 1917 war aber um 6° wärmer als der Juni 1918.

Aus Tabelle 6 ergab sich, daß wir in den zwei Jahren einen ernstlichen Wassermangel nicht gehabt haben, es hat noch viel trocknere Jahre gegeben. Allerdings war das letzte Jahr das trockenste unter den 5 Jahren 1913—1918.

Im Vorjahre hatten die Herbstmonate 111 mm Regen gebracht. Der Dezember und Januar lieferten 113 mm. Dann trat der Frost ein, es lagerte ein großer Wasservorrat in der starken Schneedecke und in den Monaten Februar bis April kamen noch 102 mm hinzu. Dieses Wasser konnte langsam in die Erde eindringen und die oberen Schichten gut durchtränken. Das lehrten am besten die Wasserstände im Brunnen, die sich trotz des Verbrauches in der Hauswirtschaft auf 10 bis 11 m gleichmäßig hielten. Im

Mai und Juni kamen nur 33+4=37mm hinzu. Der Wasserverbrauch im Garten senkte allerdings den Brunnenwasserstand bis zu 1,5 m, als dieser Verbrauch aber eingestellt worden war, stieg der Wasserstand sofort wieder. Im Juli und August fielen 153 mm und diese brachten den Brunnenstand bis auf 8,5 m.

Vom September 1917 bis April 1918 fehlten 50 mm Regen und die aufspeichernde Wirkung des Frostes und der Schneedecke. Der Wasserstand im Brunnen sank rasch von 8,5 m auf 5 m und hielt sich während des Herbstes, genau wie im Vorjahr, auf dieser Höhe. Während der kurzen Frostperiode Ende Dezember ging er auf 4 m herab. Die Schneeschmelze Anfang Januar und einige Regentage Ende Februar und Ende April konnten den Wasserstand zwar bis zu 8 m heben, er ging aber rasch wieder auf 5 m zurück, während er sich im Vorjahr auf 10 bis 11 m erhalten hatte. Im Mai und Juni fielen wieder nur 36 mm, der Wasserstand ging auf 3 m zurück, erhielt sich aber. Die starken Regen während der ersten Julitage von 107 mm brachten den Wasserstand zwar rasch auf 9 m, er war aber am Ende des Monats trotz mehrerer Regentage mit 50 mm Gesamtbetrag wieder fast auf 5 m zurückgegangen. Es fehlt also viel Wasser im Erdboden, was ja auch die Wasserstände der Elbe zur Genüge beweisen.

Der warme Winter und namentlich die hohen Temperaturen Anfang April erweckten die Vegetation sehr zeitig, leider zu zeitig, so daß der starke Temperatursturz Ende April viel Schaden anrichten konnte. Kraut, Kohlrabi, Erbsen wuchsen sehr rasch und üppig. Günstig wirkten die Regenfälle in der zweiten Hälfte des April. Wieder blühten die Obstbäume, das Beerenobst und die Erdbeere in voller Pracht. Aber die Wiesen blieben noch zurück, immer noch waren die Sonnenbrandflächen des Juni 1917 zu sehen.

Da kam der Mai mit vielen sehr hohen Temperaturen bis zu 30° und anhaltender Trockenheit. Wieder drohte der schwerste Schaden. Die Felder wurden gelb, der Hafer blieb in seiner Entwicklung zurück, die Kartoffeln kamen nicht vorwärts, das reihbehängene Beerenobst litt und die Erdbeerernte schien wieder verloren zu gehen. Der Mangel an Wasser in der Erde machte sich tief schädigend bemerkbar. Glücklicherweise trat Ende Mai ein starker Temperatursturz ein und verlief der Juni kühl. Ein Sonnenbrand wie im Vorjahr hätte die furchtbarsten Folgen haben können. Doch als die Not am größten, da war die Hilfe am nächsten! Schon Mitte Juni verloren die Wetterkarten das trostlose Aussehen. Viele lange Tage spähte man vergebens in diesen nach einer Ursache, welche hätte Regen bringen können. Schon am 17. Juni trat ein mäßiger Regen von 3 bis 4 mm ein, und diesem folgten vier weitere Regentage und wieder ein starker Rückgang der Temperatur. Dann kam der Juli und in seinen ersten Tagen Regenfälle von 34 mm und 74 mm in Wahnsdorf und noch viel mehr an anderen Orten. Die Regenfälle hielten im Juli an, die Temperatur stieg, es gab viel, aber nicht zu viel Sonnenschein, und die Natur war gerettet.

Was wurde aber aus dem starken Regen? Als ich kurz nach dem stärksten Regenfalle von der Bahnstation Löbnitzgrund durch den Dorfgrund hinauf nach Wahnsdorf ging, war die breite Fahrstraße in einen reißenden Strom verwandelt, der tiefe Furchen in dieselbe riß. Die Elbe und die sämtlichen Flüsse Sachsens führten einige Tage Hochwasser. Das verschwand aber sehr bald, und wohl der größte Teil dieses Regenwassers wird nunmehr schon von dem Ozean aufgenommen worden sein. Der gleiche Vorgang wiederholt sich fast in einem jeden Jahr. Im Winter werden im Gebirge durch Schnee und durch den Frost große Wassermassen aufgespeichert. Wenn dann das Frühjahr kommt, so strömen diese rasch den Flüssen zu und gehen verloren. Die Wasserwerke haben zu viel Wasser, vielfach auch die Fluren, und im Sommer fehlt es. Gibt es kein Mittel, der Lehre der Natur, welche im Winter für uns sorgt, zu folgen und das kostbare Gut für die Zeiten der Not aufzuspeichern? Nun ja, wir haben einige Talsperren gebaut und planen noch mehr, aber zu welchen Zwecken und wie groß. Einige sollen für die Wasserversorgung von Städten dienen, andere sollen den Wasserwerken und anliegenden Gemeinden einen gleichmäßigen Wasserzu- und -abfluß sichern, nebenbei aber noch die schädigende Wirkung starker Regenfälle abschwächen. Aber die Forst- und Landwirtschaft? Diese verhalten sich gleichgültig und ablehnend, sie fürchten schädigende Einwirkungen auf die klimatischen Verhältnisse und lassen sich darüber nicht belehren, daß eine solche undenkbar ist, außerdem aber — falls sie doch vorhanden sein sollte — eher vorteilhaft ausfallen würde. Und der Verkehr? Der kümmert sich nur um sich selbst und läßt alle anderen Interessen unbeachtet. In dem Heft 6 meiner Abhandlungen habe ich nachgewiesen, daß es uns unmöglich ist, Talsperren so groß zu bauen, daß alles Wasser zur nutzbaren Verwendung aufgespeichert werden kann, selbst dann, wenn man auf den Hochwasserschutz verzichtet.

Um den Anfang dieses Jahrhunderts tauchte der Plan auf, einen Kanal von der Elbe bei Riesa bis nach Leipzig zu bauen. Es handelte sich dabei darum, ob der Wasserverlust in diesem Kanal durch Entnahme von 2 cbm/sec aus der Mulde gedeckt werden könne. Dieser Kanal sollte durch diejenigen Fluren Sachsens gehen, welche erfahrungsgemäß bei Trockenzeiten am meisten zu leiden haben. Gleichzeitig wurde ein Kanalprojekt von Chemnitz aus erwogen, es ist mir aber hierüber nichts Näheres bekannt geworden. Damals hegte ich die Hoffnung, daß diese Kanäle auch zur Bewässerung der Fluren in der Zeit der dringendsten Not würden verwendet werden können. Ich kam auch auf den Gedanken, ob durch ein System von Kanälen in allen Höhenlagen, welche den Höhenlinien entlanggeführt werden, allen hierbei auftretenden Zwecken entsprochen werden könne. Ein solches müßte derart eingerichtet werden, daß es alles überflüssige Wasser aufnehmen kann, und sollte deshalb mit möglichst großen Talsperren in Verbindung stehen. Es soll den gleichmäßigen Abfluß in den Flüssen und Bächen sichern, es soll zu Verkehrszwecken dienen und zur Bewässerung (nenerdings Beregnung) verwendet werden können. Ob dies eine Utopie ist, weiß ich nicht, das kann nur eine eingehende Durcharbeitung lehren. Es ist mehr als 20 Jahre her, als ich mich mit allen diesen Fragen sehr eingehend und so lange beschäftigte, bis es mir verboten wurde. Jetzt darf ich es nicht mehr. Damals forderte ich, daß im ganzen Lande soviel als möglich Pegel errichtet und an jeder Stelle, so gut es ging, die den Pegelständen zugehörigen Abflusssmengen bestimmt werden. Es sollte eine generelle Aufnahme stattfinden, die sich so einrichten ließ, daß man sich ein Urteil über den Grad der Genauigkeit bilden konnte und welche spätere genauere Messungen ermöglichte. Damit sollte auch ein eingehendes Studium der Grundwasserverhältnisse verbunden werden. Dieses im Einverständnis mit allen zuständigen Dienststellen entworfene Unternehmen scheiterte angeblich an der Kostenfrage, es wäre aber zwecklos, auf die damaligen unerquicklichen Vorgänge nochmals zurückzukommen. Hätte man die Lage, in die wir jetzt gekommen sind, ahnen können, so würde man sich wohl anders verhalten haben. Möge Gott geben, daß wir diese Unterlassungen nicht noch bitter zu bereuen haben.

Aber nicht nur Wassermangel, sondern auch Wasserüberfluß kann tief schädigend wirken. In der Mitte der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts trat ein Jahr auf, in dem eine reiche Ernte auf den Feldern stand. Da setzte eine warme schwüle Witterung mit reichlichen Regenfällen ein und verdarb den größten Teil der Feldfrüchte. Das Verderben des Heues bei regnerischer Witterung tritt oft genug ein. Damals fand man in den landwirtschaftlichen Zeitschriften zahlreiche Vorschläge zur Bergung der Ernte, aber die Sache schief bald ein. Sollten wieder derartige Witterungsverhältnisse eintreten, so würde sich wohl dieser ganze Vorgang wiederholen. Da ist es erfreulich, daß man jetzt Trockenanstalten einrichtet, in denen alle dem leichten Verderben ausgesetzte Feldfrüchte haltbar gemacht werden. Eine Verwendung derselben bei der Ernte wird allerdings die altgewöhnten Verfahren wesentlich abzuändern zwingen und deshalb viel Widerstand begegnen. Man muß aber hoffen, daß es weiterhin möglich sein wird, einen reichen Erntesegen auch bei der ungünstigsten Witterung zu bergen.

Hier liegen zwei Aufgaben der wichtigsten Art vor, von deren günstiger Lösung es in erster Linie abhängen wird, ob wir uns von Zufahren aus dem Ausland mehr oder weniger vollständig frei machen können.

Ein großer Teil der Regenfälle in den ersten Julitagen ist gewiß den Fluren zugute gekommen und hat den Erdboden ordentlich durchtränkt. Da begann ein erfreuliches Wachstum. Die großen, aber fast leeren Ähren des Wintergetreides füllten sich mit großen Körnern, der fast unscheinbare Hafer wuchs zusehends und trieb gute Rispen. Das hatte zur Folge, daß heute noch in den gelben Flächen reifen Hafers große grüne Flecken stehen. Kraut und Rüben entwickelten sich in seltener Weise und stehen sehr gut. Von Raupen und Kohlweißlingen ist nur wenig zu sehen. Die Erdbeerernte wurde zum Teil gerettet. Die Kürbisse entwickeln sich kräftig. Kohlrabi gibt eine vorzügliche Ernte, aber Bohnen und Tomaten wollen nicht vorwärtskommen. Die Kartoffeln wuchsen kräftig, sie stehen jetzt buschig und entwickeln Blüten, so daß manches Feld wie ein Blumentepich aussieht. Von den Wiesen sind die braunen Flecke verschwunden, Gras, Klee und andere Futtergewächse werden wohl die Futternot bald beseitigen. Der größte Teil des Getreides ist nun eingefahren, nur der Hafer liegt und sieht noch auf den Feldern. Möchte er auch bald gut geborgen werden. Sollten die Kartoffeln das ergeben, was sie versprechen, so können wir dem nächsten Jahr mit Ruhe entgegensehen. Gott hat geholfen, Gott hilft und er wird uns nicht verlassen, er wird weiter helfen. Amen.

Wahnsdorf, Ende Juli 1918.

Verzeichnis der Schriften der Sächsischen Landes-Wetterwarte und ihrer Beamten.

A. Die amtlichen Schriften.

I. Resultate aus den an den Sächsischen meteorologischen Stationen angestellten Beobachtungen von Dr. C. Bruhns.

Die in 8 Einzelheften und 2 Doppelheften herausgegebene Veröffentlichung enthält die Beobachtungen während der 12 Jahre 1864 bis 1875 und eine Sammlung der vor 1864 an verschiedenen Orten angestellten Beobachtungen. Hervorzuheben sind unter diesen:

1. Das Klima von Leipzig aus den Beobachtungen 1760 bis 1865 abgeleitet im 2. Heft, mit Nachträgen im 3. Heft.
2. Meteorologische Beobachtungen von Reich in Freiberg 1836 bis 1861 im 3. Heft.

II. Jahrbücher der Sächsischen Landes-Wetterwarte von Dr. Paul Schreiber.

Die Jahrbücher beginnen mit dem Jahre 1883. Die Hauptergebnisse der Beobachtungen von 1876 bis 1885 in internationaler Form wurden nachträglich veröffentlicht, und zwar:

Jahrbuch 1885: Monats- und Jahresresultate aus den Beobachtungen an 21 Stationen II. und 6 Stationen III. Ordnung während der Jahre 1876 bis 1881.

Jahrbuch 1888: Dieselben Ergebnisse von 12 Stationen II. Ordnung für die Jahre 1882 bis 1885 und Pentadenmittel der Temperatur von diesen 12 Stationen für 1876 bis 1885.

Von 1886 an wurden diese dem internationalen Schema angepaßten Tabellen regelmäßig veröffentlicht.

Seit 1901 erscheint das Jahrbuch unter dem Haupttitel: Deutsches meteorologisches Jahrbuch für . . . Sächsisches Beobachtungssystem. Es besteht jetzt ein jedes Jahrbuch aus drei Teilen. Der erste enthält die vollen Beobachtungen an mehreren Stationen II. Ordnung, der zweite die Registrierungen an der Zentralstelle und der dritte die Ergebnisse von allen Stationen.

III. Dekaden-Monatsberichte der Sächsischen Landes-Wetterwarte. Vorläufige Mitteilungen von Dr. Paul Schreiber.

In diesen Heften sollen sobald als möglich die Resultate der meteorologischen Forschung veröffentlicht werden, welche im praktischen Leben (Land-, Forst- und Wasserwirtschaft) gebraucht werden.

Die Publikationsreihe wurde im Jahre 1898 begonnen. Jetzt enthält jeder Jahrgang

1. den Wettercharakter eines jeden Tages des Jahres,
 2. die wichtigsten Dekaden-, Monats- und Jahresresultate nach den Beobachtungen an mehreren Stationen II. Ordnung,
 3. die Meldungen über Gewitter- und Hagelfälle,
 4. die vollständigen Ergebnisse der Niederschlagsbeobachtungen (Tagesmengen an allen Stationen),
 5. die daraus gebildeten Monats- und Jahressummen des Niederschlages,
 6. die größten Tagesmengen des Niederschlages,
 7. Zahl der Tage mit Niederschlag nach Stärkeklassen.
- Die Anordnung der Stationen erfolgte nach Flußgebieten.
8. Ergebnisse der Pilotaufstiege.

IV. Besondere größere in den Jahrbüchern veröffentlichte Arbeiten.

Diese Beigaben sind bis 1913 mit „Vorarbeiten“ bezeichnet und den Jahrbüchern vorgeheftet worden.

Jahrbuch 1885: Beiträge zur Klimatologie von Sachsen von Dr. Hoppe und Dr. Birkner.

Die Arbeit enthält auch die von Dr. Schreiber entworfene Karte der Thermoisoplethen von Leipzig. (Sonderabdruck aus den Mitteilungen des Vereins für Erdkunde zu Leipzig, 1885.)

Jahrbuch 1900: Kritische Bearbeitung der Luftdruckmessungen in Sachsen während der Jahre 1866 bis 1900 von Dr. Paul Schreiber.

Jahrbuch 1901: Studien über Erdbodenwärme und Schneedecke von Dr. Paul Schreiber.

Jahrbuch 1902: Über den Stand des Prognosenwesens von Dr. Paul Schreiber.

Jahrbuch 1903: Formeln und Tabellen aus dem Gebiet der Thermodynamik und zur Ermittlung der Sonnenörter von Dr. Paul Schreiber.

Jahrbuch 1905: Untersuchung über meteorologische Kollektivreihen. Inaugural-Dissertation von Hans Naumann.

Jahrbuch 1910: Ergebnisse der Erdbodentemperatur-Messungen in Dresden-N. 1907 bis 1910 von Dr. Paul Schreiber.

Jahrbuch 1913: Untersuchungen über den Gang der Lufttemperatur in Leipzig. Inaugural-Dissertation von Erwin Röbner.

V. Abhandlungen der Sächsischen Landes-Wetterwarte von Dr. Paul Schreiber.

Heft 1. Vier Abhandlungen über Periodizität des Niedersehlages, theoretische Meteorologie und Gewitterregen von Dr. Paul Schreiber. Leipzig 1896.

Heft 2. Beiträge zur meteorologischen Hydrologie der Elbe von Dr. Paul Schreiber. Leipzig 1897.

Heft 3. Studien über Luftbewegungen von Dr. Paul Schreiber. Leipzig 1898.

Heft 4. Die Meteorologie in der Landwirtschaft. I. Der Sonnenschein von Dr. Paul Schreiber. Leipzig 1899.

Heft 5. Orientierende Untersuchungen über die meteorologisch-hydrographischen Verhältnisse und die Wirkungsweise von Stauanlagen im Gebiete des Weißeritzflusses während der Jahre 1894 bis 1897 von Dr. Paul Schreiber. Leipzig 1901.

Heft 6. Die Niederschlags- und Abflußverhältnisse im Gebiet der Weißeritz während der Jahre 1866 bis 1900 und die sich daraus ergebende Einwirkung von Stauanlagen auf die Nutzung des Wassers und die Abflußvorgänge von Dr. Paul Schreiber. Leipzig 1901.

VI. Das Klima von Sachsen von Dr. Paul Schreiber.

Heft 1. Die Niederschlagsverhältnisse der Jahre 1864 bis 1890 nach den aus Beobachtungen von ca. 20 Stationen gewonnenen täglichen Durchschnittswerten des Niederschlages, von Dr. Paul Schreiber. Chemnitz 1892.

Heft 2. Fünf- und mehrjährige Mittel aus den Monats- und Jahresergebnissen der Beobachtungen 1864 bis 1890. Von Dr. Paul Schreiber. Chemnitz 1893.

Heft 3. I. Monats- und Jahresmittel der wichtigsten klimatischen Elemente für den Zeitraum 1864 bis 1890 (Vieljährige Mittel, Extreme, Schwankungen und Genauigkeit). Von Dr. Friedrich Klengel.

II. Zehnjährige Resultate der Verdunstungsmessungen an den Stationen Dresden-N., Chemnitz und Jahnsgrün. Von C. Lindemann.

III. Sechsjährige Resultate für Sonnenschein, Bewölkung und Wind nach den stündlichen Beobachtungen auf den Türmen zu Dresden, Leipzig und Chemnitz. Von C. Lindemann. Chemnitz 1895.

Heft 4. Die klimatographischen Arbeiten des sächsischen meteorologischen Institutes bei der Sächsisch-Thüringischen Industrie- und Gewerbe-Ausstellung Leipzig 1897. Von Dr. Paul Schreiber. Chemnitz 1897.

Heft 5. Zusammenstellung der Hochwasser der Weißen Elster und Mulde während der Jahre 1868 bis 1893 in Verbindung mit den Landesdurchschnitten des Niederschlages und Temperaturbeobachtungen in Chemnitz. Von J. Baudenbacher. Chemnitz 1898.

Heft 6. Die phänologischen Beobachtungen der Jahre 1864 bis 1897 und die Ernteerträge in Sachsen in ihrer Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen. Von Dr. Grohmann. Chemnitz 1901.

Die amtlichen Veröffentlichungen können durch die Karl Brunnersche Buchhandlung (Georg Metzner) in Chemnitz bezogen werden.

B. Schriften des Direktors Dr. Paul Schreiber.

(Ein ausführliches Verzeichnis dieser Schriften enthält das biographisch-literarische Handwörterbuch von Poggendorf-Oettingen bis 1904.)

Handbuch der barometrischen Höhenmessungen usw. Mit einem Atlas von 18 Großfoliotafeln. Weimar 1877. Bernh. Friedr. Voigt.

Die Artikel über Meteorologie und Klimatographie in Brockhaus' Konversationslexikon. 14. Auflage.

Die Witterung in Europa und seiner Umgebung. Halle a. d. S. G. Schwetschke-scher Verlag. 1880. Mit 1 Schieferkarte.

Die Bedeutung der Windrosen für theoretische und praktische Fragen der Meteorologie und Klimatographie. Petermanns geographische Mitteilungen, Ergänzungsband 66, 1881.

Entwurf eines Telemeteorographen. Carls Repertorium für Experimentalphysik und phys. Technik. Band 18, 1882. (Die früheren Arbeiten in dieser Zeitschrift wurden bereits auf Seite 31 aufgeführt.)

Bestimmung der Bewegung eines Luftballons durch trigonometrische Messungen von zwei Standpunkten aus. Met. Zeitschrift III S. 341 bis 345. 1886.

Zur Frage der Ableitung wahrer Tagesmittel der Lufttemperatur aus dreiresp. viermaligen Beobachtungen. Met. Zeitschrift V S. 259 bis 269. 1888.

Die Teilnahme Sachsens an den meteorologischen Forschungen. Sitzungsberichte der naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden. 1889.

Die Wärmebewegung in der Zeit vom 21. April bis 20. Juni zu Leipzig. Met. Zeitschrift VII S. 347 bis 351. 1890.

Die Hochflut der Elbe im September 1890. Das Wetter, Band 7, 1890.

Untersuchung über die Periodizität des Niederschlages in Sachsen. Met. Zeitschrift VIII S. 441 bis 450. 1891.

Der Siebenschläfer und die Regenverhältnisse in Sachsen. Das Wetter, Band 8, 1891.

Was bezwecken wir mit der großen Zahl meteorologischer Stationen in Sachsen? Mitteilungen der ökonomischen Gesellschaft, Dresden 1891.

Beziehungen zwischen dem Niederschlag in Böhmen und dem Wasserabfluß in der Elbe bei Tetschen. Mitteilungen des Vereins für Erdkunde in Leipzig 1891.

Falbs kritische Tage und die Regenbeobachtungen in Sachsen. Chemnitz 1892.

Die in Amerika angestellten Versuche zur künstlichen Regenzeugung. Mitteilungen der ökonomischen Gesellschaft, Dresden 1892.

Untersuchung über das Wesen der sogenannten Besselschen Formel sowie deren Anwendung auf die tägliche periodische Veränderung der Lufttemperatur. (Nova acta der Ksl. Leop.-Carol. Deutschen Akademie der Naturforscher. Band LVIII Nr. 3. Mit 6 Tafeln.) Halle 1892.

Die klimatischen Grundgleichungen. Met. Zeitschrift X S. 361 bis 369. 1893.

Klimatographie von Sachsen. Heft 1, Band VIII der Forschungen zur deutschen Volks- und Landeskunde. Stuttgart 1893, J. Engelhorn.

Die Einwirkung des Waldes auf Klima und Witterung. Dresden 1899. G. Schönfelds Verlagsbuchhandlung (Sonderabdruck aus „Tharandter forstliches Jahrbuch“ 49. Band).

Beiträge zur Hageltheorie. Met. Zeitschrift XVIII S. 58 bis 70. 1901.

Die Wirkung von Sammelbecken (Talsperren) als Glieder wasserwirtschaftlicher Maßnahmen für Forst- und Landwirtschaft. Mitteilungen der ökonomischen Gesellschaft, Dresden 1901.

Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse in Mitteleuropa. Met. Zeitschrift XXI S. 441 bis 452. 1904.

Heft 7. Klimatische Grundwerte für Sachsen (1864 bis 1900). — Die Schwankungen der jährlichen Niederschlagshöhen und deren Beziehungen zu den Relativzahlen für die Sonnenflecken. Von Dr. Paul Schreiber. Chemnitz 1903.

Heft 8. Die Niederschlagsverhältnisse von Leipzig, Freiberg und Reitzenhain während der fünfzig Jahre 1864 bis 1913 (Inaugural-Dissertation). Von Dr. W. F. Glaß. Dresden 1915.

Untersuchung über die Genauigkeit der Tages-, Monats- und Jahresmittel aus den Temperaturbeobachtungen für die drei Stundenkombinationen 6—2—10, 8—2—8, 7—2—9. Met. Zeitschrift, Hannband S. 40 bis 59. 1906.

Allgemeine Theorie der Wagemanometer. Abhandlungen der naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden. 1908 Heft I.

Über die Verwendung der Thermodynamik bei der Diskussion von Ballonbeobachtungen. Met. Zeitschrift XXVI S. 25 bis 27. 1909.

Beiträge zur Theorie der Pilotaufstiege. Illustrierte Aeronautische Mitteilungen 1909 und 1910.

Das Wolkenproblem (Messung der Wolkenhöhe). Met. Zeitschrift XXVII S. 172 bis 175. 1910.

Einfache Hilfsmittel (Logarithmenpapiere) zum Studium der Vorgänge in den oberen Schichten der Atmosphäre. Met. Zeitschrift XXVII S. 198 bis 209. 1910.

Beiträge zur Ermittlung der Tragkraft und Bewegung eines Freiballons mit Hilfe von Logarithmenpapier. Abhandlungen der naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden. 1910 Heft II.

Sonder-Katalog für die Gruppe Klimatologie und Meteorologie der Internationalen Hygiene-Ausstellung. Dresden 1911. Zwei Teile.

Der zweite Teil enthält auf den Seiten 7 bis 116 klimatologische Tabellen, und zwar:

I. Das Tropenklima. Seite 9 bis 22. Von 72 Stationen wurden Mittlere Temperatur und Regenmenge der Monate und des Jahres aus dem Handbueh der Klimatologie von Dr. Julius v. Hann (Band II. Stuttgart 1910) zusammengestellt.

II. Das Klima von Ostindien. Seite 23 bis 36. Nach den Publikationen des Indischen meteorologischen Amtes wurden für 24 Bezirke festgestellt: die absoluten Extreme der Temperatur, die Mittelwerte aus den höchsten und tiefsten Temperaturen, der relativen Feuchtigkeit 8 a und 4 p und der Bewölkung 8 a und 4 p, sowie die Niederschlagswahrscheinlichkeit und Niederschlagsmenge für die Monate und das Jahr.

III. Das Klima der Vereinigten Staaten von Nordamerika. Seite 37 bis 50. 24 Stationen: Portland (Oregon), San Francisco, San Diego, Spokane, Boise, Helena, Salt Lake City, Cheyenne, Santa Fé, Bismarek, Omaha, Dodge City, St. Paul, St. Louis, Little Rocks, New Orleans, Chicago, Buffalo, Cincinnati, Atlanta, Eastport, New York City, Wilmington, Jacksonville.

Inhalt der Tabellen: Absolute und mittlere Extreme der Temperatur. Mittlere relative Feuchtigkeit früh und nachmittags, Sonnenscheindauer, Niederschlagswahrscheinlichkeit und Niederschlagshöhe für die Monate und das Jahr.

Vergleichende Darstellung der klimatischen Verhältnisse in Europa. Seiten 51 bis 116.

IV. Das Klima der norddeutschen Staaten. Helgoland, Rostock, Königsberg, Lüneburg, Berlin S, Posen, Klausthal, Leipzig, Zittau, Reitzenhain, Breslau, Schreiberhan.

V. Das Klima der süddeutschen Staaten. Metz, Geisenheim, Straßburg, Baden-Baden, Badenweiler, Heilbronn, Hohenheim, Friedrichshafen, Meiningen, Kissingen, Nürnberg, München.

- VI. **Das Klima der Schweiz.** Basel, Zürich, Affoltern i. E., Chamont, Engelberg, Platta, Bevers, Castasegna, Sion, Genf, Lugano, St. Bernhard.
- VII. **Das Klima des österreichischen Alpengebietes.** Bregenz, Alt-Aussee, Wien, Zell am See, Reichenau am Semmering, Gossensaß, Toblach, Graz, Klagenfurt, Bad Neuhaus bei Cilli, Arco, Triest.
- VIII. **Das Klima in Italien.** Vicenza, Mailand, Turin, Genua, Florenz, Siena, Rom, Neapel, Potenza, Lecce, Palermo, Siracus.
- IX. **Das Klima der deutschen Insel Sylt, von Dänemark und Schweden.** Keitum, Vestervig, Samsö, Lund, Wisby, Göteborg, Upsala, Hernösand, Oestersund, Umea, Haparanda, Jockmock.
- X. **Das Klima von Norwegen.** Oxö, Skudesnäs, Christiania, Bergen, Florö, Röros, Kristiansund, Stenkjär, Brönnö, Tromsö, Alten, Vardö.
- XI. **Das nördliche Polarklima.** Port Simson, Prince Albert, Hebron, Upernivik, Godthaab, Stykkisholm, Grimsey, Obdorsk, Tomsk, Enisseisk, Irkutsk, Markowo a. Anadyr.

Inhalt der Tabellen für 96 Stationen: Absolute Extreme, mittlere Tages- und mittlere Monatsextreme der Temperatur, Mittel der relativen Feuchtigkeit und Bewölkung 8 a und 2 p. Wahrscheinlichkeit und Höhe des Niederschlages für die Monate und das Jahr.

Auf den Seiten 117 bis 241 findet man dann die Beschreibung und Abbildung der ausgestellten Instrumente. Dieser Teil kann als eine kurze Instrumentenkunde bezeichnet werden.

Darlegung der Art der Verwendung von Papierpiloten bei dem praktischen Wetterdienst der Sächsischen Landes-Wetterwarte. Dresden 1914. Verlag von Otto Becker, Dresden, Polierstraße 18.

Die Logarithmenpapiere von Carl Schleicher & Schüll in Düren (Rheinland). Verlag dieser Firma. Düren 1914.

Das Sinus-Logarithmenpapier und seine Verwendung zu der harmonischen Analyse. Met. Zeitschrift XXXII S. 443 ff. 1915.

Über die Herleitung von Tagesmitteln der Lufttemperatur aus Terminbeobachtungen. Met. Zeitschrift XXXIII S. 306 ff. 1916.

Die Anwendung der Logarithmenpapiere bei der barometrischen Höhenmessung sowie bei meteorologischen und aerologischen Arbeiten. Düren 1918. Carl Schleicher & Schüll.

C. Schriften der anderen Beamten.

Das Klima von Sachsen von Dr. E. Grohmann.

