ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

Band 172.

Nr. 4114.

10.

Untersuchung einiger Radunterbrecher.

Von B. Wanach.

Schon vor Jahren ist man am Kgl. Preussischen Geodätischen Institut zu der Erkenntnis gelangt, daß Uhren mit Radunterbrecher speziell bei Verwendung als Koinzidenzuhren für Pendelbeobachtungen auch bei genauester Ausführung des Unterbrecherrades nur recht bescheidenen Ansprüchen genügen, da die unvermeidlichen Teilungsfehler des Zahnrades ein ungleichmäßiges Tempo der Sekundensignale verursachen, was ein unregelmäßiges Springen der Blitze im Koinzidenzapparat zur Folge hat. Hier benutzt man daher für diesen Zweck ausschließlich Pendelunterbrecher.

In wie hohem Grade letztere den Radunterbrechern überlegen sind, zeigte in besonders auffälligem Maße eine im Herbst vorigen Jahres von mir untersuchte, für Expeditionszwecke gebaute Sekundenuhr Riefler Nr. 96, die mit Nickelstahlpendel, Rieflerscher Hemmung, automatisch 2 mal in 1^m wirkendem elektromagnetischem Aufzug, Rad- und Pendelunterbrecher ausgerüstet war. Vorweg will ich bemerken, daß die Gänge eine hervorragende Konstanz zeigten, und komme hierauf nochmals weiter unten zurück.

Gleich beim Korrigieren des Abfalles fiel mir auf, daß das Steigrad mit sehr merklichen Teilungsfehlern behaftet war, so daß der Abfall bei kleinem Schwingungsbogen sich im Laufe einer Minute systematisch in deutlich hörbarem Maße änderte. Zwar verschwand die hörbare Ungleichheit der Sekundenlängen bei normaler Schwingungsweite, doch blieb die Ungleichheit der registrierten Sekunden noch groß genug, um auf dem Chronographenstreifen bei aufmerksamer Betrachtung auch ohne Messung wahrnehmbar zu sein. Diese

Tatsache veranlaßte mich, unsere vier mit Radunterbrechern ausgerüsteten Sekundenuhren: Dencker Nr. 27 und 28, Riefler Nr. 20 und 96, mit einer mit Pendelunterbrecher arbeitenden Uhr auf einem Hippschen Chronographen zu vergleichen. Ich ließ die vier Uhren jedesmal nacheinander je über 1^m lang arbeiten, so daß von jeder die volle Reihe der Sekunden 1 bis 59 (Sekunde 0 lassen alle aus) abgelesen werden konnte. Im ganzen stellte ich 10 solche Vergleichungsreihen an drei verschiedenen Tagen her, und zum Schluß noch eine Vergleichung von über 10^m Dauer mit dem Pendelunterbrecher von Riefler Nr. 96, um zu prüfen, ob die Pendelunterbrecher dieser Uhr und der Strasserschen Vergleichsuhr etwa eine nachweisbare Ungleichheit der relativen Sekundenlängen zeigen.

Nachdem ich die Resultate dieser Untersuchung Herrn Dr. S. Riefler mitgeteilt hatte, schickte er eine andere Uhr, Nr. 141, welche sich aber nicht wesentlich anders verhielt; daraufhin wurden die Räder von Nr. 96 im Anfang dieses Jahres in der Rieflerschen Werkstatt nachgearbeitet, und hierdurch konnte eine ganz bedeutende Verbesserung erzielt werden, wie aus dem folgenden zu ersehen sein wird.

Da der Abdruck des ganzen Beobachtungsmaterials zu viel Raum beanspruchen würde, beschränke ich mich hier nur auf die Mitteilung der Ablesungen der Sekunden 1 bis 20 für den Radunterbrecher von Riefler Nr. 20 und den Pendelunterbrecher von Riefler Nr. 96, um dem Leser ein Urteil über die Genauigkeit der erhaltenen Resultate zu ermöglichen. Die ganzen Sekunden der Ablesungen sind fortgelassen, und nur die Zehntel und Hundertstel mitgeteilt:

Sekunde	Radunterbrecher von Riefler Nr. 20										Pendelunterbrecher von Riefler Nr. 96									
0											.83	.83	.83	.83	.84	.85	.84	.84	.83	.84
1	.78	.78	.78	.80	.83	.82	.19	.19	.21	.20	.84	.85	.86	.85	.85	.85	.86	.86	.85	.86
2	.84	.83	.85	.86	.88	.89	.25	.26	.27	.26	.84	.84	.84	.84	.84	.85	.85	.85	.85	.84
3	.76	.77	.78	.78	.80	.82	.21	.21	.20	.20	.85	.85	.85	.86	.85	.86	.87	.85	.86	.85
4	.83	.83	.83	.85	.86	.87	.25	.25	.25	.27	.83	.83	.84	.84	.84	.84	.85	.84	.85	.84
5	.77	.80	.78	.80	.82	.83	.19	.21	.20	.22	.85	.86	.85	.85	.85	.86	.86	.85	.85	.85
6	.84	.86	.84	.85	.89	.90	.25	.26	.26	.28	.84	.83	.84	.84	.85	.84	.85	.85	.85	.85
7	.78	.78	.79	.81	.83	.83	.19	.20	.20	.22	.84	.85	.85	.85	.86	.85	.85	.86	.85	.86
8	.84	.83	.83	.86	.87	.88	.24	.26	.25	.27	.83	.84	.84	.84	.83	.84	.84	.85	.85	.85
9	.80	.80	.80	.80	.84	.84	.21	.22	.21	.23	.84	.85	.85	.85	.86	.85	.85	.85	.86	.86
10	.81	.81	.82	.83	.85	.85	.22	.24	.24	.24	.83	.84	.83	.84	.84	.84	.85	.85	.84	.85
11	.79	.78	.79	.79	.81	.82	.19	.21	.19	.20	.85	.85	.85	.85	.86	.85	.85	.85	.85	.86
12	.80	.82	.82	.83	.84	.86	.21	.23	.22	.23	.83	.83	.84	.85	.83	.84	.85	.85	.83	.84
13	.76	.77	.77	.78	.81	.81	.17	.18	.17	.19	.85	.84	.85	.86	.86	.86	.86	.85	.86	.86
14	.82	.83	.82	.85	.88	.88	.25	.24	.23	.24	.83	.82	.83	.84	.83	.85	.84	.84	.84	.84
15	.79	.77	.78	.81	.82	.82	.19	.21	.19	.20	.84	.84	.85	.85	.85	.86	.85	.86	.86	.85
16	.82	.81	.82	.81	.86	.85	.21	.23	.24	.24	.83	.84	.84	.83	.84	.83	.85	.84	.84	.84

Sekunde	Radunterbrecher von Riefler Nr. 20										Pendelunterbrecher von Riefler Nr. 96									
17	.81	.80	.82	.81	.83	.82	.20	.23	.22	.23	.85	.85	.86	.85	.86	.85	.87	.85	.87	.85
18	.80	.81	.82	.82	.84	.85	.21	.23	.23	.23	.82	.83	.83	.84	.83	.84	.85	.84	.85	.85
19	.80	.79	.80	.82	.83	.85	.21	.22	.22	.23	.85	.85	.85	.85	.86	.86	.86	.86	.86	.85
20	.80	.81	.83	.83	.86	.86	.22	.23	.23	.24	.84	.83	.83	.83	.83	.85	.83	.85	.83	.85

Für jede Uhr wurden dann die 10 zu jeder Sekunde gehörigen Ablesungen gemittelt; sei also $a_1, b_1, c_1 \dots k_1$ die erste, zweite, dritte ... zehnte Ablesung für die Sekunde 1, so bildete ich

$$m_1 = \frac{a_1 + b_1 + \dots + k_1}{10}$$

ebenso für die Sekunde 2:

$$m_2 = \frac{a_2 + b_2 + \dots + k_2}{10} \text{ u.s.w.}$$

Ferner bildete ich, um das mittlere Hinken der Uhr zu eliminieren, die Mittel aus allen ungeraden und aus allen geraden Mittelwerten:

$$M_u = \frac{m_1 + m_3 + \dots + m_{59}}{30}$$

und

$$M_g = \frac{m_2 + m_4 + \dots + m_{58}}{29}$$

Sodann stellen die Differenzen $m_1 - M_u$, $m_2 - M_g$, $m_3 - M_u$, $m_4 - M_g$ u.s.w. die Fehler der einzelnen registrierten Sekunden dar, bezogen auf die mittlere Zeitskala der Uhr bei in möglichst vollkommenem Maße korrigiertem Abfall. Diese Fehler, in tausendstel Sekunden ausgedrückt, sind für die vier Uhren in folgender Tabelle zusammengestellt, bei Riefler Nr. 96 für den Radunterbrecher im ursprünglichen Zustande unter R_1 , für den Pendelunterbrecher unter P , und für den Radunterbrecher nach seiner Verbesserung unter R_2 . Die rechte Seite der Tabelle findet ihre Erklärung weiter unten.

Sek.	Fehler der einzelnen Sekunden. Einheit 0.001						Korrekturen der Zehnermittel				
	D. 27	D. 28	R. 20	R_1	R. 96 P	R_2	D. 27	D. 28	R. 20	R. 96 R_1	R_2
0					-3		0	+1	-1	+10	0
1	+5	0	-3	0	0	-8					
2	+6	0	+15	-5	+5	+6	-1	+1	-1	+10	0
3	+2	-2	-8	-8	+2	+1					
4	-1	-5	+5	0	+1	+6	-3	0	+1	+10	0
5	+2	-1	+1	-15	0	+8					
6	-6	-8	+19	-4	+5	+4	-3	0	+1	+8	+1
7	+2	-1	+2	-1	-1	+4					
8	+4	-5	+9	+4	+2	-1	-3	0	-1	+4	0
9	+2	-5	+14	-13	-1	-2					
10	-2	-3	-13	-11	+2	+1	-3	-1	-1	+3	-1
11	+9	+3	-4	-4	-1	-1					
12	-1	-8	-18	0	0	+7	-2	-1	-4	+2	-2
13	+9	+11	-20	-8	+2	+1					
14	+3	+17	0	+1	-3	-5	-2	-1	-6	-1	-1
15	+3	+1	-3	-4	-2	-1					
16	-2	0	-15	+4	-1	-1	-2	-2	-6	-2	0
17	0	-3	+16	+19	+3	+9					
18	-2	-6	-20	+22	-1	+1	-2	-2	-7	-4	-1
19	-3	+5	+16	+7	+2	-5					
20	-5	-5	-13	+13	-2	-5	-2	-3	-7	-6	-1
21	-3	-1	+21	+10	-1	+1					
22	-4	+1	-20	+24	-4	0	-1	-3	-6	-6	-1
23	-1	-1	+14	+21	-3	-8					
24	-2	+1	-18	+14	-4	-2	0	-2	-5	-8	0
25	+2	+7	+8	-2	+1	+6					
26	+1	+2	-3	+2	+3	+9	+1	-1	-6	-8	-1
27	0	+9	+11	+15	+1	+10					
28	0	+5	+4	0	+1	+5	+1	-1	-3	-8	0
29	-1	+4	+7	+1	-1	-5					
30	-4	-2	-3	0	0	-4	0	0	0	-7	0
31	+1	+3	-12	+4	+4	+1					
32	+5	+5	+2	-9	+4	+2	0	0	+3	-9	0
33	-3	-5	-24	+7	-1	-3					

Sek.	Fehler der einzelnen Sekunden. Einheit 0.001						Korrekturen der Zehnermittel				
	D. 27	D. 28	R. 20	R_1	R. 96 P	R_2	D. 27	D. 28	R. 20	R_1	R. 96 R_2
34	- 6	+ 3	- 6	- 20	+ 2	0	0	- 1	+ 6	- 8	- 1
35	+ 1	- 6	- 1	+ 4	+ 2	0					
36	+ 5	0	- 11	- 1	0	+ 3	+ 1	0	+ 6	- 8	- 1
37	- 2	- 4	- 11	+ 8	0	- 1					
38	- 4	+ 1	+ 22	+ 8	- 2	+ 1	+ 1	+ 1	+ 8	- 6	0
39	+ 2	- 3	- 16	+ 2	+ 1	0					
40	- 10	- 5	0	+ 4	- 1	+ 1	0	+ 1	+ 8	- 4	0
41	- 3	+ 1	- 6	+ 29	0	+ 2					
42	- 6	- 4	+ 3	- 2	- 1	- 6	+ 1	+ 1	+ 7	- 3	0
43	- 2	+ 1	- 16	+ 10	+ 4	+ 1					
44	- 1	- 3	+ 4	- 4	- 2	- 8	+ 1	+ 1	+ 5	- 1	- 1
45	- 2	0	+ 3	+ 2	- 2	+ 5					
46	- 2	+ 3	+ 7	- 4	- 5	- 5	+ 1	0	+ 5	+ 2	- 1
47	- 2	+ 3	- 5	- 10	+ 2	+ 5					
48	+ 3	- 1	+ 27	- 12	+ 1	- 6	+ 1	0	+ 5	+ 4	- 2
49	+ 5	- 2	+ 7	- 12	+ 2	- 9					
50	+ 7	+ 2	+ 3	+ 3	+ 3	- 5	+ 1	0	+ 1	+ 5	0
51	- 1	+ 4	- 1	- 6	- 1	+ 5					
52	+ 5	+ 4	- 10	- 17	- 1	- 2	0	0	+ 1	+ 8	+ 1
53	- 3	+ 1	0	- 14	- 4	0					
54	+ 4	+ 1	- 2	0	+ 3	- 5	0	0	0	+ 9	+ 1
55	- 2	+ 1	- 6	- 24	+ 1	+ 5					
56	+ 3	+ 8	+ 20	- 5	+ 3	- 2	0	0	0	+ 11	0
57	- 3	- 4	- 6	- 12	+ 3	+ 3					
58	+ 10	+ 3	+ 19	- 8	0	- 1	- 1	+ 1	0	+ 10	+ 1
59	0	- 2	+ 17	- 10	- 3	- 15					
m. F.	± 2.2	± 1.9	± 2.9	± 3.5	± 2.1	± 3.5					

Um ein Urteil über die Genauigkeit der Bestimmung dieser Fehler zu gewähren, teile ich hier noch für jeden Unterbrecher die 10 Einzelbestimmungen des größten positiven und negativen Fehlers sowohl für die Reihe der geraden als der ungeraden Sekunden mit (Einheit 0.001):

Dencker 27				Dencker 28				Riefler 20			
13 ^s	33 ^s	40 ^s	58 ^s	12 ^s	13 ^s	14 ^s	35 ^s	21 ^s	22 ^s	33 ^s	48 ^s
+ 16	- 4	- 13	+ 16	- 9	+ 10	+ 21	- 10	+ 19	- 23	- 31	+ 27
+ 4	- 6	+ 3	+ 22	- 4	+ 9	+ 16	- 1	+ 25	- 26	- 25	+ 34
+ 12	- 18	- 10	+ 19	- 12	+ 8	+ 8	- 2	+ 20	- 14	- 20	+ 36
+ 10	0	- 11	+ 8	- 12	+ 18	+ 28	- 22	+ 11	- 33	- 19	+ 27
+ 7	+ 7	- 4	+ 15	- 13	+ 8	+ 17	- 2	+ 29	- 24	- 21	+ 26
- 2	- 2	- 3	+ 6	+ 1	+ 5	+ 11	- 5	+ 26	- 24	- 34	+ 26
+ 10	- 10	+ 1	0	- 7	+ 14	+ 13	- 16	+ 13	- 15	- 7	+ 25
+ 8	- 2	- 22	+ 7	- 1	+ 9	+ 19	- 1	+ 17	+ 2	- 43	+ 22
+ 10	0	- 21	- 2	- 12	+ 7	+ 18	- 13	+ 21	- 22	- 29	+ 8
+ 10	0	- 11	+ 8	- 12	+ 7	+ 18	+ 7	+ 31	- 21	- 9	+ 39
Riefler 96, R_1				Riefler 96, P				Riefler 96, R_2			
22 ^s	34 ^s	41 ^s	55 ^s	6 ^s	31 ^s	46 ^s	53 ^s	26 ^s	27 ^s	44 ^s	59 ^s
+ 27	- 13	+ 34	- 26	+ 8	+ 2	- 12	- 8	+ 24	+ 24	+ 14	- 16
+ 8	- 12	+ 50	- 30	- 5	+ 2	+ 5	+ 2	+ 8	+ 24	- 12	- 26
+ 26	- 14	+ 22	- 38	+ 3	+ 9	- 7	- 11	+ 1	+ 32	- 19	- 18
+ 29	- 1	+ 39	- 31	+ 2	- 3	+ 2	- 3	+ 8	- 2	- 12	- 22
+ 23	- 17	+ 31	- 25	+ 10	+ 14	0	+ 4	+ 8	+ 27	- 12	- 13
+ 14	- 16	+ 33	- 7	- 2	- 6	- 12	+ 4	+ 5	- 9	- 5	- 9
+ 27	- 33	+ 13	- 37	+ 5	+ 14	+ 5	- 6	0	0	- 10	- 10
+ 38	- 32	+ 30	- 30	+ 9	- 5	- 11	- 5	+ 16	- 1	- 14	- 11
+ 31	- 29	+ 21	+ 1	+ 10	+ 5	- 10	- 15	+ 7	+ 22	- 3	- 18
+ 18	- 32	+ 11	- 19	+ 8	+ 6	- 12	- 4	+ 19	- 16	- 1	- 6

Aus diesen Einzelbestimmungen ergeben sich die am Fuß der obigen Tabelle mitgeteilten mittleren Fehler eines Tabellenwertes, aus denen man ersieht, daß alle Radunterbrecher mit reellen Fehlern behaftet sind, während bei dem Pendelunterbrecher von Riefler Nr. 96 der aus den Quadraten gebildete Mittelwert aller Fehler ± 0.0024 nur wenig größer ist als der m. F. des Einzelwerts ± 0.0021 , so daß hier an der Realität der Fehler allenfalls gezweifelt werden darf.

Was die Ursache jener Fehler betrifft, so kann sie in Teilungsfehlern sowohl des Unterbrecherrades als auch des Steigrades gesucht werden, wird aber vermutlich in beiden liegen. Wenigstens hatte ich mich bei Riefler Nr. 96 im ursprünglichen Zustande davon überzeugt, daß nicht nur, wie schon oben mitgeteilt, das Steigrad einen ungleichmäßigen Abfall bewirkte, sondern daß auch das Unterbrecherrad eine sogar ganz systematische Ungleichheit der Teilung aufwies. Der Unterbrecher arbeitet bekanntlich in der Weise, daß der Kontakthebel durch die Zähne des Unterbrecherrades bei jedem Sekundenschlage für kurze Zeit gehoben wird und dadurch den Stromkreis unterbricht. Durch verschiedene Einstellungen des Unterbrecherhebels ließ sich nun feststellen, daß erstens die Zahnspitzen, welche den Sekunden 18, 19 und 21 entsprachen, weiter vorragten als alle übrigen, während die den Sekunden 44, 46, 49 und 52 entsprechenden am wenigsten vorragten, und zweitens, daß die Tiefe der Zahnspitzen, abgesehen von zufälligen Verschiedenheiten (die Lücke zwischen Sekunde 39 und 40 war am wenigsten tief, obwohl die benachbarten Zahnspitzen keineswegs am weitesten vorragten), ganz regelmäßig wechselte, derart, daß bei einer gewissen Stellung des Kontakthebels die Stromschlüsse bei allen geraden Sekunden (außer 0) eintraten, bei allen ungeraden aber (außer 59) fortfielen.

Bevor ich durch die Beobachtung an Riefler Nr. 96 auf diese Fehler aufmerksam geworden war, war es mir zwar schon aufgefallen, daß die Uhrvergleichungen von Riefler

Nr. 20 wesentlich schlechter übereinstimmten, als die der drei anderen Normaluhren des Geodätischen Instituts; doch meinte ich das erklären zu können durch ein möglicherweise bei dieser Uhr stärkeres Verbrennen des Kontaktes, das ja größere zufällige Fehler der einzelnen Sekundensignale zur Folge haben mußte. Ich benutzte bis dahin für die täglichen Uhrvergleichungen beliebige Reihen von 10 aufeinanderfolgenden ungeraden Sekunden. Die Korrekturen des Mittels solcher Reihen, abgeleitet aus den Fehlern der einzelnen Sekunden, sind in obiger Tabelle als »Korrekturen der Zehnermittel« eingetragen, und zwar steht beispielsweise das negative Mittel der Fehler der Sekunden 13, 15, 17 ... 29, 31 in der Zeile für die in der Mitte dieser Reihe liegende Sekunde 22.

Die Differenz zweier solcher Uhrvergleichungen wird also durch die Fehler der Sekundensignale bei Riefler Nr. 20 bis zu 0.015 verfälscht werden können, bei Dencker Nr. 27 und 28 nur um 0.004 , bei Riefler Nr. 96 im ursprünglichen Zustande sogar um 0.020 , jetzt aber nur noch um 0.003 . Nach einer Mitteilung von Herrn Geheimrat Albrecht hat auch Dencker Nr. 27 ursprünglich viel größere Fehler gezeigt und ist daraufhin vom Verfertiger mit einem neuen Unterbrecherrade ausgerüstet worden.

Seit der Erkenntnis dieser Fehlerquelle benutze ich konsequent bei allen Uhren mit Radunterbrecher für die Uhrvergleichungen immer nur dieselben Sekunden 1 bis 10, und es fragt sich, ob bei Benutzung einer älteren Rieflerschen Uhr als Registrieruhr nicht in manchen Fällen, wie z. B. bei absoluten Rektaszensionsbestimmungen, in Anbetracht der sonstigen Güte dieser Uhren eine Berücksichtigung der besprochenen Fehler empfehlenswert wäre.

Die Gänge von Riefler Nr. 96 sind so gut, daß es mir lohnend erscheint, sie hier für die erste Untersuchungsperiode nebst der Ableitung des Barometerkoeffizienten ausführlich wiederzugeben:

1905	u	g	Δg	Δb	$\Delta g \cdot \Delta b$	$(\Delta b)^2$	$\beta \cdot \Delta b$	(v)	v	Bemerkungen
Aug. 27	+27.78	-0.31		mm						
28	+27.47	-0.34	-0.03	- 8.6			-0.11	+0.08	-0.06	Pendelunterbrecher ausgeschaltet
29	+27.13	-0.39	-0.05	- 5.4	+0.270	29.16	-0.07		+0.02	
30	+26.74	-0.38	+0.01	+ 6.8			+0.09	-0.08	+0.06	» eingeschaltet
31	+26.36	-0.36	+0.02	+10.7	+0.214	114.49	+0.14		-0.12	
Sept. 1	+26.00	-0.24	+0.12	- 2.4			-0.03	+0.15	+0.01	» ausgeschaltet
2	+25.76	-0.29	-0.05	- 5.4	+0.270	29.16	-0.07		+0.02	
3	+25.47	-0.44	-0.15	- 1.1			-0.01	-0.14	0.00	» eingeschaltet
4	+25.03	-0.28	+0.16	+10.9	+1.744	118.81	+0.14		+0.02	
5	+24.75	-0.16	+0.12	+ 0.2			0.00	+0.12	-0.02	» ausgeschaltet
6	+24.59	-0.18	-0.02	- 4.4	+0.088	19.36	-0.06		+0.04	
7	+24.41	-0.32	-0.14	- 0.8			-0.01	-0.13	+0.01	» eingeschaltet
8	+24.09	-0.33	-0.01	+ 5.0	-0.050	25.00	+0.07		-0.08	
9	+23.76	-0.23	+0.10	- 2.4			-0.03	+0.13	-0.01	» ausgeschaltet
10	+23.53	-0.17	+0.06	- 1.9	-0.114	3.61	-0.02		+0.08	
11	+23.36	-0.14	+0.03	+ 3.7	+0.111	13.69	+0.05		-0.02	
12	+23.22	-0.04	+0.10	+ 5.3	+0.530	28.09	+0.07		+0.03	
13	+23.18	-0.20	-0.16	+ 0.6			+0.01	-0.17	-0.03	» eingeschaltet
14	+22.98	-0.28	-0.08	- 3.5	+0.280	12.25	-0.05		-0.03	
15	+22.70	-0.29	-0.01	+ 0.2	-0.002	0.04	0.00		-0.01	
16	+22.41	-0.14	+0.15	- 0.6			-0.01	+0.16	+0.02	» ausgeschaltet
17	+22.27		+0.07	+ 4.2	+0.294	17.64	+0.06		+0.01	

1905	u	g	Δg	Δb mm	$\Delta g \cdot \Delta b$	$(\Delta b)^2$	$\beta \cdot \Delta b$	(v)	v	Bemerkungen
Sept. 17	+22.27	—0.07	+0.07	+4.2	+0.294	17.64	+0.06		+0.01	
18	+22.20	—0.02	+0.05	—2.2	—0.111	4.84	—0.03		+0.08	
19	+22.18									Versuche mit stark eingreifendem
20	+20.18									Radunterbrecher
21	+20.23	+0.05	+0.06	+3.1	+0.186	9.61	+0.04		+0.02	
22	+20.34	+0.11	—0.05	—2.0	+0.100	4.00	—0.03		—0.02	
23	+20.40	+0.06	—0.03	—3.7	+0.111	13.69	—0.05		+0.02	
24	+20.43	+0.03	—0.08	—3.4	+0.272	11.56	—0.04		—0.04	
25	+20.38	—0.05	+0.01	—0.7	—0.007	0.49	—0.01		+0.02	
26	+20.34	—0.04	0.00	+1.5	0.000	2.25	+0.02		—0.02	
27	+20.30	—0.04	—0.04	—2.5	+0.100	6.25	—0.03		—0.01	
28	+20.22	—0.08	+0.04	+3.1	+0.124	9.61	+0.04		0.00	
29	+20.18	—0.04	—0.09	—2.8	+0.252	7.84	—0.04		—0.05	
30	+20.05	—0.13	—0.02	—5.9	+0.118	34.81	—0.08		+0.06	
Okt. 1	+19.90	—0.15	—0.03	+1.2	—0.036	1.44	+0.02		—0.05	
2	+19.72	—0.18	—0.21	—1.6			—0.02	—0.19	—0.05	Pendelunterbrecher eingeschaltet
3	+19.33	—0.39								
4										Stehen geblieben; Batterie schwach
5	—9.40									
6	—9.37	+0.03	+0.08	+6.4	+0.512	40.96	+0.08		0.00	
7	—9.26	+0.11	+0.11	+9.6	+1.056	92.16	+0.13		—0.02	
8	—9.04	+0.22	+0.13	+3.7	+0.481	13.69	+0.05		+0.08	
9	—8.69	+0.35	—0.07	—2.9	+0.203	8.41	—0.04		—0.03	
10	—8.41	+0.28	+0.16	+7.4	+1.184	54.76	+0.10		+0.06	
11	—7.97	+0.44	—0.07	—2.0	+0.140	4.00	—0.03		—0.04	
12	—7.60	+0.37	—0.11	—6.6	+0.726	43.56	—0.09		—0.02	
13	—7.34	+0.26	—0.14	—8.7	+1.218	75.69	—0.11		—0.03	
14	—7.22	+0.12	+0.02	—1.0	—0.020	1.00	—0.01		+0.03	
15	—7.08	+0.14	—0.09	—3.3	+0.297	10.89	—0.04		—0.05	
16	—7.03	+0.05	+0.14	+7.2	+1.008	51.84	+0.09		+0.05	
17	—6.84	+0.19	+0.04	+4.8	+0.192	23.04	+0.06		—0.02	
18	—6.61	+0.23	+0.16	+3.7	+0.592	13.69	+0.05		+0.11	
19	—6.22	+0.39	—0.03	+1.9	—0.057	3.61	+0.02		—0.05	
20	—5.86	+0.36	—0.06	—1.5	+0.090	2.25	—0.02		—0.04	
21	—5.56	+0.30	—0.04	—1.7	+0.068	2.89	—0.02		—0.02	
22	—5.30	+0.26	+0.02	0.0	0.000	0.00	0.00		+0.02	
23	—5.02	+0.28	+0.04	+1.6	+0.064	2.56	+0.02		+0.02	
24	—4.70	+0.32	0.00	+0.5	0.000	0.25	+0.01		—0.01	
25	—4.38	+0.32	+0.05	+2.1	+0.105	4.41	+0.03		+0.02	
26	—4.01	+0.37	+0.03	+1.8	+0.054	3.24	+0.02		+0.01	
27	—3.61	+0.40	—0.09	—5.5	+0.495	30.25	—0.07		—0.02	
28	—3.30	+0.31	+0.04	—1.8	—0.072	3.24	—0.02		+0.06	
29	—2.95	+0.35	—0.05	—4.6	+0.230	21.16	—0.06		+0.01	
30	—2.65	+0.30	—0.08	—2.3	+0.184	5.29	—0.03		—0.05	
31	—2.43	+0.22	+0.01	—0.5	—0.005	0.25	—0.01		+0.02	
Nov. 1	—2.20	+0.23								

Die Bedeutung der einzelnen Spalten ist folgende: u ist die Uhrkorrektur, abgeleitet aus der Mittagsvergleichung mit den Normaluhren; der mittlere Fehler eines solchen Wertes kann etwa $\mu_u = \pm 0.02$ geschätzt werden. Der tägliche Gang g wird also mit einem mittleren Fehler $\mu_g = \pm 0.03$ behaftet sein, und die Differenz zweier aufeinanderfolgender täglicher Gänge mit dem mittleren Fehler $\mu_{\Delta g} = \pm 0.05$; es ist nämlich

$$\Delta g_k = g_{kl} - g_{ik} = u_l - 2u_k + u_i$$

also

$$\mu_{\Delta g} = \mu_u \sqrt{6}.$$

Die Δb sind die Änderungen der täglichen Luftdichtemittel. Nach meiner in Nr. 3989 der Astr. Nachr. dargelegten Methode erhält man also den Barometerkoeffizienten

$$\beta = \frac{\sum (\Delta g \cdot \Delta b)}{\sum (\Delta b)^2} = +0.0131$$

wenn man die durch Ein- oder Ausschalten des Pendelunterbrechers gestörten Δg fortläßt. Für diese Fälle erhält man durch Subtraktion des von den Barometerschwankungen verursachten Teils der Gangänderung $\beta \cdot \Delta b$ von Δg die Werte (v) , welche abgesehen von zufälligen Gangänderungen den Einfluß

des Pendelunterbrechers auf den Gang darstellen. Im Mittel aus allen (v) ergibt sich die Änderung des Ganges durch Einschalten des Pendelunterbrechers $= -0^s.14$. Bringt man diesen Wert mit dem entsprechenden Zeichen an die (v) an, und bildet für die übrigen Tage $\Delta g - \beta \cdot \Delta b$, so erhält man die zufälligen Gangänderungen v , deren m. F. nach obiger Annahme $\pm 0^s.05$ sein sollte. Der quadratische Mittelwert der v ist aber bloß $\pm 0^s.042$, woraus folgt, daß der oben angenommene Wert von μ_u zu groß ist. Daß die v nur zu einem kleinen Teil wirklichen Änderungen des mittleren Ganges zuzuschreiben sind, ist auch daraus zu schließen, daß alle größeren Werte v von zwei kleineren mit entgegengesetztem Vorzeichen eingeschlossen sind; nimmt man nämlich an, die Uhrkorrekturen einer idealen Uhr seien täglich 0, eine aber sei fälschlich $= +0^s.01$ bestimmt worden, so erhält man folgende Wertreihe:

u	g	Δg
0 ^s .00	0 ^s .00	0 ^s .00
0.00	0.00	0 ^s .00
0.00	0.00	+0.01
+0.01	+0.01	-0.02
0.00	-0.01	+0.01
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00

Man sieht also, daß schon kleine Fehler der einzelnen Uhrkorrekturen ausreichen würden, um einen großen Teil der v zu erklären.

Bildet man den quadratischen Mittelwert der v nur für jene Perioden, wo der Pendelkontakt eingeschaltet war, so erhält man $\pm 0^s.047$, und wenn er außer Tätigkeit gesetzt war, $\pm 0^s.039$. Der Unterschied ist bei der Unsicherheit dieser Werte zu gering, um daraufhin mit Sicherheit annehmen zu dürfen, daß der Pendelunterbrecher den Gang ungünstig beeinflusse. Zu bemerken wäre noch, daß seit den letzten Tagen des Septembers in dem Raume, wo die Uhr aufgestellt ist, fast täglich gearbeitet wurde, während sie vorher ganz ungestört war; da das Uhrstativ auf dem Betonfußboden steht, der auch durch vorsichtiges Gehen in dem Raum deutlich meßbare Durchbiegungen erleidet, hätte man a priori ein Anwachsen der v im Oktober erwarten können. Der quadratische Mittelwert der 30 ersten v ist aber $\pm 0^s.041$, der der 30 letzten $\pm 0^s.043$.

Dagegen sind neuerdings nach der Rücksendung der Uhr aus München die Gänge noch viel besser, obwohl die Uhr genau so aufgestellt ist, wie vorher; nur wurde bisher in dem Raume gar nicht gearbeitet. Die Resultate sind:

1906	u	g	Δg	Δb	$\Delta g \cdot \Delta b$	$(\Delta b)^2$	$\beta \cdot \Delta b$	v	B - R	g_{750}
März 23	+0 ^s .34	-0 ^s .12	-0 ^s .05	mm					+0 ^s .08	+0 ^s .01
24	+0.22	-0.17	+0.04	+ 2.1	+0.105	4.41	-0 ^s .03	-0 ^s .02	+0.12	-0.01
25	+0.05	-0.13	+0.04	+ 4.8	+0.192	23.04	+0.07	-0.03	+0.15	-0.04
26	-0.08	-0.05	+0.08	+ 4.5	+0.360	20.25	+0.07	+0.01	+0.15	-0.03
27	-0.13	-0.06	-0.01	+ 1.4	-0.014	1.96	+0.02	-0.03	+0.15	-0.06
28	-0.19	-0.11	-0.05	- 2.1	+0.105	4.41	-0.03	-0.02	+0.13	-0.08
29	-0.30	-0.08	+0.03	+ 1.4	+0.042	1.96	+0.02	+0.01	+0.09	-0.07
30	-0.38	-0.01	+0.07	+ 5.6	+0.392	31.36	+0.08	-0.01	+0.06	-0.08
31	-0.39	+0.03	+0.04	+ 1.1	+0.044	1.21	+0.02	+0.02	+0.02	-0.06
April 1	-0.36	+0.17	+0.14	+ 9.0	+1.260	81.00	+0.13	+0.01	0.00	-0.05
2	-0.19	+0.19	+0.02	+ 3.1	+0.062	9.61	+0.05	-0.03	-0.01	-0.07
3	0.00	+0.20	+0.01	+ 0.2	+0.002	0.04	0.00	+0.01	-0.05	-0.07
4	+0.20	+0.12	-0.08	- 5.3	+0.424	28.09	-0.08	0.00	-0.08	-0.07
5	+0.32	+0.05	-0.07	- 5.0	+0.350	25.00	-0.07	0.00	-0.12	-0.07
6	+0.37	+0.14	+0.09	+ 3.1	+0.279	9.61	+0.05	+0.04	-0.15	-0.02
7	+0.51	+0.16	+0.02	+ 1.7	+0.034	2.89	+0.02	0.00	-0.13	-0.03
8	+0.67	+0.22	+0.06	+ 3.2	+0.192	10.24	+0.05	+0.01	-0.12	-0.01
9	+0.89	+0.23	+0.01	+ 1.1	+0.011	1.21	+0.02	-0.01	-0.10	-0.02
10	+1.12	+0.18	-0.05	- 1.8	+0.090	3.24	-0.03	-0.02	-0.08	-0.04
11	+1.30	+0.18	0.00	- 3.4	0.000	11.56	-0.05	+0.05	-0.09	+0.01
12	+1.48	+0.14	-0.04	- 3.0	+0.120	9.00	-0.04	0.00	-0.04	+0.01
13	+1.62	+0.12	-0.02	- 1.8	+0.036	3.24	-0.03	+0.01	+0.01	+0.02
14	+1.74	+0.16	+0.04	+ 2.7	+0.108	7.29	+0.04	0.00	+0.06	+0.02
15	+1.90	+0.19	+0.03	+ 4.4	+0.132	19.36	+0.06	-0.03	+0.11	-0.02
16	+2.09	+0.06	-0.13	- 7.8	+1.014	60.84	-0.11	-0.02	+0.13	-0.03
17	+2.15	-0.08	-0.14	- 9.0	+1.260	81.00	-0.13	-0.01	+0.14	-0.04
18	+2.07	-0.15	-0.07	- 6.0	+0.420	36.00	-0.09	+0.02	+0.14	-0.02
19	+1.92	-0.18	-0.03	0.0	0.000	0.00	0.00	-0.03	+0.15	-0.05
20	+1.74	+0.02	+0.20	+12.8	+2.560	163.84	+0.19	+0.01	+0.14	-0.04
21	+1.76								+0.13	

Der Barometerkoeffizient ergibt sich aus dieser Periode gleich

$$\beta = +0^s.0147$$

und die damit berechneten v sind so klein (ihr quadratischer Mittelwert ist $\pm 0^s.021$), daß selbst ein mittlerer Fehler der einzelnen Uhrkorrektur $\mu_u = \pm 0^s.01$ zu ihrer Erklärung

als völlig ausreichend erscheinen könnte, wenn sie nur den Charakter rein zufälliger Fehler trügen; daß aber wirkliche von den Barometerschwankungen unabhängige Veränderungen

des Ganges vorgekommen sind, erkennt man bei dem Versuch, die Uhrkorrekturen durch eine einfache Gangformel darzustellen. Die Formel

$$u = +0.26 + (T - \text{März } 23) [-0.037 + 0.0147 (B - 750 \text{ mm})]$$

ergibt jedoch die unter $B - R$ wiedergegebenen Differenzen zwischen Beobachtung und Rechnung, und noch deutlicher spricht sich die Änderung des Ganges in der letzten Kolonne aus, in der die mit $\beta = +0.0147$ auf 750 mm re-

duzierten beobachteten Gänge zusammengestellt sind. Bei günstigerer Aufstellung wären von dieser Uhr jedenfalls ganz hervorragend gute Resultate zu erwarten.

Potsdam, April 1906.

B. Wanach.

Bemerkung zu dem Artikel:

Bergstrand, Zur Theorie der Differentialrefraktion (A. N. Nr. 4106).

In dem angeführten Artikel macht Herr Bergstrand auf eine Vernachlässigung aufmerksam, welche ich bei der Ableitung meiner Formel für die Refraktion in Distanz (A. N. Bd. 158, 164, 168, 170) begangen habe. Sind nämlich ζ_1 , ζ_2 , ζ_m bzw. die wahren Zenitdistanzen zweier Sterne und des Mittelpunktes m des die beiden Sterne verbindenden Bogens eines größten Kreises, bezeichnen ferner $\alpha_1' \tan \zeta_1$, $\alpha_2' \tan \zeta_2$, $\alpha_m' \tan \zeta_m$ die entsprechenden Refraktionsbeträge, so hat man z. B.

$$\alpha_2' = \alpha_m' + \frac{\partial \alpha_m'}{\partial \zeta_m} (\zeta_2 - \zeta_m) + \dots$$

Wenn ferner Δ die wahre Distanz der beiden Sterne bedeutet und die Winkel, welche bzw. ζ_2 , ζ_m mit Δ bilden, mit γ_2 , γ_m bezeichnet werden, so ergibt sich $\zeta_2 - \zeta_m$ aus der Gleichung

$$\tan \frac{1}{2} (\zeta_2 - \zeta_m) = - \frac{\cos \frac{1}{2} (\gamma_2 + \gamma_m)}{\cos \frac{1}{2} (\gamma_2 - \gamma_m)} \tan \frac{\Delta}{4}.$$

Ich habe nun $\zeta_2 - \zeta_m = - \frac{1}{2} \Delta \cos \gamma_m$

gesetzt. Herr Bergstrand gibt die Formel für die Refraktion in Distanz an, welche er unter Mitnahme der von mir vernachlässigten Glieder gefunden hat, und bemerkt zu der Differenz zwischen seiner und meiner Formel: »Der Unterschied bezieht sich freilich nur auf Glieder, die in den meisten in der Praxis vorkommenden Fällen zu vernachlässigen sind«. Beschränkt man sich aber bei Heliometerbeobachtungen (Maximalwert von $\Delta = 2^\circ$) auf Zenitdistanzen bis zu 75° , wie ich das in Bd. 164 ff. der A. N. und bei meinen Refraktionstabellen (W. Engelmann) pg. 16, 17 getan habe, so ist der Unterschied zwischen Herrn Bergstrand und mir unter allen Umständen zu vernachlässigen.

Wien-Ottakring, 1906 Juli 27.

L. de Ball.

Nécrologie.

L'Observatoire de Paris, si éprouvé dans ces dernières années, vient encore de perdre un de ses plus laborieux et dévoués astronomes, **Joseph François Bossert**, enlevé à l'âge de 54 ans.

Né à Blandy, près de Melun, le 30 novembre 1851, il entra à l'observatoire à l'âge de 15 ans; il fut aussitôt placé au bureau des calculs, dirigé par M. Gaillot, et il ne l'a jamais quitté.

De bonne heure il se fit remarquer par son activité: il compléta d'abord son instruction première, puis, à partir de 1873, il calcula diverses orbites de petites planètes et de comètes.

Lié dans la suite avec M. L. Schulhof, avec lui il acheva de se perfectionner, et les deux amis entreprirent ensemble la théorie de la comète découverte à Marseille par Pons en 1812, et dont Encke avait fixé la révolution à 70.68 ans ± 7 ans. MM. Schulhof et Bossert reprirent ce calcul en déterminant avec le plus grand soin les positions des étoiles de comparaison et en utilisant des observations qui étaient restées inconnues à Encke. Ils fixèrent ainsi la durée de révolution à 73.2 ans; la comète fut retrouvée par M. Brooks le 1 septembre 1883, et cette durée de révolution se trouva exacte à moins d'une demi année près, quoique, en 1812, la comète n'eût été observée que pendant 6 mois.

Dès 1880 Bossert avait entrepris aussi de calculer la comète Tempel-Swift (1869 III - 1880 IV), découverte d'abord par Tempel à Marseille le 7 novembre 1869, soupçonnée alors d'avoir une assez courte période, puis retrouvée par Swift le 11 octobre 1880. Avec M. Schulhof, Bossert reconnut d'abord que la comète était revenue en 1875, puis il relia les apparitions de 1869 et de 1880, après quoi il put calculer les suivantes (1886, 1891, 1897, 1903). La comète fut retrouvée en 1891, mais elle n'a pas été revue depuis parce qu'elle s'est toujours trouvée, à son retour près de la Terre, dans des conditions défavorables de visibilité.

Par ces calculs laborieux Bossert avait rendu des services appréciés; mais il fut plus utile encore en mettant au jour d'anciennes observations oubliées, et notamment celles faites par Le Français à l'Ecole militaire de 1800 à 1804. De même il réduisit et publia les observations de planètes et de comètes faites à