

DIE MÖGLICHKEIT VON POLHÖHENSCHWANKUNGEN INFOLGE VON GEZEITEN DER FESTEN ERDKRUSTE

VON

RICHARD SCHUMANN

ORDENTL. MITGLIED D. AKAD. D. WISS.

(MIT 6 TEXTFIGUREN UND 8 TABELLEN)

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 6. MAI 1943

I.

Anlaß zur vorliegenden Arbeit.

Vom Beginn des Internationalen Breitendienstes im Jahre 1900 an bis zur Gegenwart treten im Laufe der Berechnung bekanntlich zu große Widersprüche fortlaufend auf, und zwar schon bei dem üblichen Ermitteln der Deklinationsverbesserungen $\Delta \delta$ in Gestalt der Schlußfehler (erreurs de clôtüre, closing sums). Diese $\Delta \delta$ sind für das Problem der Polhöhen-schwankungen selbst nebensächlich und nicht unbedingt nötig; nach dem Vorgange von Th. Albrecht führt das Zentralbüro der Internationalen Erdmessung (I. E.) bei dem üblichen Verfahren zur Reduktion der Beobachtungen der Breitenvariation (usual manner) diese $\Delta \delta$ weiter mit. Mangels Kenntnis der störenden Ursache werden die dem Fortgange der Rechnung sich entgegenstellenden Schlußfehler mittels rein rechnerischer Notbehelfe zum Verschwinden gebracht; dabei wird die Annahme gemacht, daß die Polhöhen der Stationen tagsüber als konstant angesehen werden dürfen.

Die nach dem üblichen Verfahren erhaltenen Polhöhen-schwankungen der Stationen des 39. Parallels dienen dann als Grundlage für die Ableitung einer „Polbahn“ und dies unter der weiteren Annahme, daß auch im Bereiche der hier in Betracht kommenden kleinen Beträge (Größenordnung 0'1) eine mathematische Achse für den rotierenden, in sich verschieblichen Erdkörper vorausgesetzt werden dürfe.

Die damit erreichte Darstellung der Beobachtungen auf dem 39. Parallel erschöpft letztere nicht, sie läßt gesetzmäßig verlaufende Reste übrig. Mehrere Aufsätze der Bearbeiter, in denen kleine empirische, periodische Glieder, abhängig von der doppelten Sonnenlänge $2 \odot$, angesetzt werden, um jene Reste wenigstens darzustellen, gaben den ersten Anlaß zu vorliegender Arbeit. H. Kimura versucht in mehreren Nummern der Astronomischen Nachrichten (A. N.) sowie in Band VI der Ergebnisse des Internationalen Breitendienstes („Ergebnisse“) ihre Darstellung durch drei Glieder von der Gestalt:

$$\alpha_1 \sin (\odot - \alpha + A_1), \alpha_2 \sin (2 \odot - \alpha + A_2), s \sin (2 (\odot - \alpha) + S),$$

worin bedeuten: \odot die Sonnenlänge, α mittlere Rektaszension einer der zwölf Sterngruppen, $\alpha_1, A_1, \alpha_2, A_2, s, S$ zu bestimmende Konstanten.

Wie man aus Band VI der „Ergebnisse“, S. 152, ersehen kann, finden sich bei gleichnamigen Konstanten verschiedener Stationen teils Übereinstimmungen, teils Gänge nach der geographischen Länge λ , teils Sprünge.

Von 1936.0 an führten L. Carnera und P. Vocca diese Untersuchungen weiter; die Ergebnisse finden sich in den A. N. Nr. 6290 und 6372 sowie in den Contributi Astronomici des Observatoriums Capodimonte, Serie II, Nr. 1 und 23. Bezeichnet a_1 eine Konstante, r_2 die Amplitude und A_2 die Anfangsphase einer Formel: $a_1 + r_2 \sin(2\odot - \alpha + A_2)$, so finden sich für diese drei Größen zwei Systeme von Werten für die Zeit 1936.0 bis 1937.0, je nachdem man die fünf Stationen des 39. Parallels allein benutzt oder wenn man nach Carnera zwei von den drei Stationen in der südlichen Breite -35° hinzunimmt; siehe Tabelle I.

Tabelle I.

	Polhöhe	Länge	a_1		r_2		A_2	
			5 Stat.	7 Stat.	5 Stat.	7 Stat.	5 Stat.	7 Stat.
Ukiah	+ 39°	+ 123°	- 0'006	- 0'016	+ 0'030	+ 0'021	- 63°	- 44°
Gaithersburg ...		+ 77	- 0.030	- 0.021	+ 0.038	+ 0.024	- 55	- 80
Carloforte		- 8	- 0.014	+ 0.004	+ 0.035	+ 0.034	- 3	- 38
Kitab		- 67	- 0.031	+ 0.003	+ 0.080	+ 0.012	+ 27	+ 10
Mizusawa		- 141	- 0.034	- 0.014	+ 0.065	+ 0.015	+ 40	- 116
La Plata	- 35	+ 58	-	0.000	-	+ 0.026	-	- 81
Adelaide		- 138	-	+ 0.001	-	+ 0.037	-	+ 12
			Mittel für 5 Stat.					
					+ 0.050	+ 0.021		

Es spricht nicht für Realität obiger Formel, daß die Beträge der a_2 und r_2 nach der Vermehrung der Beobachtungen auf die Hälfte herabsinken und daß der Gang in A_2 zerstört wird, eine so starke Abhängigkeit einer darzustellenden Naturerscheinung von der rechnerischen Behandlung ist verdächtig. Es sei daran erinnert, daß wegen der Kettenmethode jährlich zwölfmal Wechsel der Gruppeneklination stattfinden muß, abgesehen davon, daß die $\Delta\delta$ mittels rechnerischer Notbehelfe erlangt wurden.

Hinzu tritt noch folgendes: infolge der Kettenmethode ändert sich die Differenz $\odot - \alpha$ wegen der nicht eben großen Schiefe der Ekliptik nur um wenige Grade im Jahr; dies erhellt aus der nachstehenden Tabelle. Demgemäß bleiben das erste und das dritte jener drei Glieder „practically constant“ (Kimura), bei einem Ausgleich würden sie miteinander verbunden, ihre Gewichte klein bleiben. Das zweite Glied mit dem Argument

$$2\odot - \alpha + A_2 = \odot + (\odot - \alpha) + A_2$$

Gruppen	\odot	α		$\odot - \alpha$		$2\odot - \alpha$	
		23 h	1 h	23 h	1 h	23 h	1 h
IV V	301°	106°	136°	195°	165°	136°	106°
V VI	330	136	167	194	163	164	133
VI VII	359	167	196	192	163	191	162
VII VIII	32	196	228	196	164	228	196
VIII IX	60	228	256	192	164	252	224
IX X	89	256	285	193	164	282	253
X XI	119	285	316	194	163	313	282
XI XII	146	316	345	190	161	336	307
XII I	176	345	16	191	160	7	336
I II	208	16	46	192	162	40	10
II III	236	46	75	190	161	66	37
III IV	267	75	106	192	161	99	68

würde nahe mit der einfachen Sonnenlänge eingehen. Die drei Glieder ziehen sich somit auf eines von der Form $C_1 + C_2 \cdot \sin(\odot - \odot_0)$ zusammen, wo C_1 , C_2 und \odot_0 Stationskonstante bedeuten. Der obige dreigliedrige Ausdruck eignet sich also nicht zum Nachweis einer Abhängigkeit von $2\odot$ nach dem üblichen Verfahren.

Diese Bedenken äußerte ich in einem Aufsatz, der auf der Konferenz der International Astronomical Union in Stockholm 1938 vorlag; auf S. 142 des VI. Bandes der Transactions bemerkt Sp. Jones, daß die Koeffizienten dieser „empirical periodic terms are determined with such low weight, that the effect on the latitude variations may be entirely spurious“. Nach S. 385 schlug Jones in der Sitzung der Polhöhenkommission vom 4. August vor: „to omit the empirical periodic terms in future“. Die Kommission stimmte einhellig zu.

Aber Glieder mit zweifachem Argument verdienen besonderes Interesse; im Abschnitt III soll auf diese beiseite geschobenen Glieder mittels einer $\Delta\delta$ -freien Methode näher eingegangen werden, sie sind sicher vorhanden.

Über die Beträge der eingangs erwähnten Schlußfehler in der Zeitspanne 1936.0 bis 1937.0 gibt die folgende Zusammenstellung einen Überblick; zum Vergleich stelle ich neben sie die Schlußfehlergrenzen aus A. N. Nr. 5960 vom Jahre 1933, sie zeigt die Grenzen der Schlußfehler aus der Zeitspanne 1900 bis 1922.

Obere und untere Grenzen der Schlußfehler zwischen 1936.0 und 1940.0

	λ		Ma	Mi
Ukiah	+ 123°	+ 39°	— 0°045	— 0°228
Gaithersburg.	+ 77	+ 39	+ 0.058	— 0.489
La Plata	+ 58	— 35°	+ 0.265	— 0.092
Carloforte	— 8	+ 39	+ 0.157	— 0.100
Kitab	— 67	+ 39	+ 0.353	— 0.352
Batavia	— 107	— 7°	+ 0.615	+ 0.029
Adelaide	— 138	— 35	+ 0.233	— 0.369
Mizusawa.	— 141	+ 39	+ 0.070	— 0.427
Theoretischer Wert $\equiv 0^{\circ}000$				

Schlußfehlergrenzwerte auf dem internat. Parallel + 39°, 1900 bis 1922.

Ukiah	— 0°032 bis — 0°852
Cincinnati	+ 0.131 bis — 0.526
Gaithersburg...	+ 0.595 bis — 0.570
Carloforte	+ 0.050 bis — 0.417
Tschardjui	+ 0.150 bis — 1.138
Mizusawa.	+ 0.215 bis — 0.485
Theoretischer Wert $\equiv 0^{\circ}000$	

Im Band VII der „Ergebnisse“ werden die Schlußfehler, trotz ihres deutlich systematischen, stationsweise verschiedenen Charakters nicht mehr wiedergegeben; dadurch wird das Aufsuchen der Störursache erschwert.

II.

Empirische periodische Glieder, abhängig von der einfachen Sonnenlänge \odot , nach einer $\Delta\delta$ -freien Methode.

A. Systematische Gänge in übrigbleibenden Fehlerreihen nach einer Ausgleichung zeigen hier das Bestehen eines verborgenen Naturvorganges, für den ein einwandfreier Ansatz

zur Darstellung nicht gegeben werden konnte. Mittels Näherungsformeln versucht man wenigstens Merkmale, wie: stetig verlaufende lokale oder regionale Gänge, Abhängigkeit vom doppelten Argument bei Gezeiten, Sprünge usw. zu finden, die Rückschlüsse auf jenen Vorgang gestatten; die Ausgleichsrechnung rückt damit zum Forschungsmittel auf.

Der Vorschlag von Sp. Jones: to omit the empirical periodic terms betrifft kleine Glieder mit Amplituden von wenigen $0^{\circ}01$; sie bestehen neben den Hauptgliedern mit 12- und 14monatiger Periode und mit Amplituden von etwa $0^{\circ}08$. Um zu erkennen, ob es berechtigt ist, jene Glieder mit dem Argument $2 \odot$ wegzulassen, wandte ich die seit Jahrzehnten bekannte Methode der $\Delta \delta$ -freien $\Sigma \Delta \Phi$ an auf die nach L. Carnera einheitlich nach dem üblichen Verfahren reduzierten Polhöhenmessungen aus 1936.0 bis 1940.0, und zwar auf sämtliche acht Stationen. Die Gruppenmittel stehen:

- für 1936.0—1937.0 in A. N. 6290, Tabelle 1 und 2,
für 1937.0—1938.0 in A. N. 6372, Tabelle I und II,
für 1938.0—1939.0 in Contributi Astron. Nr. 1, S. 269—270,
für 1939.0—1940.0 in Contributi Astron. Nr. 23, S. 4—5.

Über die Ableitung der $\Delta \Sigma \Phi$ siehe A. N. Nr. 6022; eine Schätzung ihrer Genauigkeit gab ich in Nr. 6908. Man erhält für die acht Stationen folgende Σ -Reihen.

Tabelle II.

$\Sigma \Delta \Phi$					$\Sigma \Delta \Phi$				
Jahresbruch	1936	1937	1938	1939	Jahresbruch	1936	1937	1938	1939
Ukiah					Mizusawa				
0.06	$0^{\circ}000$	$-0^{\circ}052$	$-0^{\circ}255$	$-0^{\circ}471$	0.06	$0^{\circ}000$	$-0^{\circ}130$	$-0^{\circ}166$	$-0^{\circ}403$
0.14	$+0.030$	-0.094	-0.276	-0.429	0.14	-0.021	-0.238	-0.290	-0.416
0.22	$+0.004$	-0.122	-0.249	-0.415	0.22	-0.047	-0.399	-0.417	-0.499
0.31	-0.037	-0.133	-0.314	-0.486	0.31	-0.192	-0.489	-0.504	-0.585
0.39	-0.147	-0.176	-0.342	-0.543	0.39	-0.249	-0.601	-0.630	-0.666
0.47	-0.242	-0.307	-0.424	-0.563	0.47	-0.305	-0.670	-0.647	-0.463
0.56	-0.271	-0.351	-0.439	-0.542	0.56	-0.355	-0.688	-0.689	-0.551
0.64	-0.276	-0.386	-0.495	-0.615	0.64	-0.218	-0.659	-0.716	-0.825
0.73	-0.268	-0.342	-0.563	-0.644	0.73	-0.091	-0.549	-0.640	-0.830
0.80	-0.226	-0.336	-0.565	-0.646	0.80	-0.113	-0.536	-0.510	-0.857
0.88	-0.205	-0.295	-0.564	-0.611	0.88	-0.078	-0.517	-0.474	-0.912
0.97	-0.137	-0.286	-0.543	-0.674	0.97	-0.143	-0.340	-0.343	-0.807
Gaithersburg					La Plata				
0.06	$0^{\circ}000$	$-0^{\circ}386$	$-0^{\circ}951$	$-1^{\circ}032$	0.06	$0^{\circ}000$	$-0^{\circ}047$	$-0^{\circ}061$	$+0^{\circ}115$
0.14	-0.022	-0.476	-0.897	-0.984	0.14	$+0.055$	$+0.016$	-0.013	$+0.142$
0.22	-0.104	-0.529	-0.937	-0.969	0.22	$+0.090$	$+0.059$	$+0.010$	$+0.186$
0.31	-0.146	-0.614	-0.947	-1.041	0.31	$+0.019$	$+0.081$	$+0.139$	$+0.195$
0.39	-0.205	-0.663	-1.008	-1.125	0.39	$+0.043$	$+0.084$	$+0.284$	$+0.265$
0.47	-0.275	-0.726	-1.023	-1.176	0.47	$+0.022$	$+0.139$	$+0.277$	$+0.332$
0.56	-0.383	-0.782	-1.087	-1.183	0.56	$+0.013$	$+0.046$	$+0.315$	$+0.447$
0.64	-0.358	-0.860	-1.103	-1.216	0.64	$+0.031$	-0.012	$+0.299$	$+0.394$
0.73	-0.479	-0.921	-1.144	-1.267	0.73	-0.077	-0.012	$+0.180$	$+0.355$
0.80	-0.519	-0.904	-1.103	-1.291	0.80	-0.087	-0.114	$+0.154$	$+0.461$
0.88	-0.566	-0.893	-1.152	-1.340	0.88	-0.074	-0.119	$+0.095$	$+0.134$
0.97	-0.489	-0.915	-1.217	-1.399	0.97	-0.059	-0.118	$+0.035$	$+0.098$

Tabelle II (Fortsetzung).

Jahresbruch	1936	1937	1938	1939	Jahresbruch	1936	1937	1938	1939
Carloforte					Batavia				
0.06	0°000	— 0°027	— 0°020	+ 0°136	0.06	0°000	+ 0°178	+ 0°703	+ 1°206
0.14	— 0.049	— 0.029	+ 0.026	+ 0.092	0.14	0.000	+ 0.172	+ 0.690	+ 1.262
0.22	— 0.057	— 0.016	+ 0.001	+ 0.074	0.22	— 0.025	+ 0.072	+ 0.646	+ 1.137
0.31	— 0.061	+ 0.001	+ 0.040	—	0.31	— 0.025	+ 0.093	+ 0.547	+ 1.153
0.39	— 0.101	+ 0.026	— 0.051	—	0.39	— 0.077	+ 0.034	+ 0.530	+ 1.095
0.47	+ 0.009	+ 0.051	— 0.059	—	0.47	— 0.073	+ 0.151	+ 0.622	+ 0.994
0.56	— 0.029	+ 0.078	+ 0.214	—	0.56	+ 0.042	+ 0.180	+ 0.654	+ 0.963
0.64	— 0.015	+ 0.109	+ 0.292	—	0.64	+ 0.108	+ 0.236	+ 0.723	+ 1.044
0.73	— 0.045	+ 0.087	+ 0.183	—	0.73	+ 0.219	+ 0.379	+ 0.807	+ 1.044
0.80	— 0.049	+ 0.095	+ 0.032	—	0.80	+ 0.275	+ 0.501	+ 0.887	+ 1.156
0.88	— 0.070	+ 0.060	+ 0.016	—	0.88	+ 0.321	+ 0.517	+ 1.030	+ 1.183
0.97	— 0.089	+ 0.004	— 0.013	—	0.97	+ 0.218	+ 0.677	+ 1.206	+ 1.226
Kitab					Adelaide				
0.06	0°000	+ 0°035	— 0°036	— 0°091	0.06	0°000	— 0°127	— 0°119	— 0°089
0.14	+ 0.046	— 0.103	— 0.033	— 0.198	0.14	— 0.165	— 0.167	— 0.199	— 0.131
0.22	— 0.023	— 0.160	— 0.076	— 0.360	0.22	— 0.173	— 0.217	— 0.342	— 0.141
0.31	— 0.062	— 0.225	— 0.195	— 0.414	0.31	— 0.204	— 0.238	— 0.307	— 0.260
0.39	— 0.072	— 0.277	— 0.188	— 0.451	0.39	— 0.298	— 0.185	— 0.412	— 0.327
0.47	— 0.059	— 0.272	— 0.158	— 0.330	0.47	— 0.401	— 0.226	— 0.492	— 0.389
0.56	— 0.032	— 0.219	— 0.063	— 0.262	0.56	— 0.345	— 0.154	— 0.351	— 0.486
0.64	+ 0.073	— 0.156	+ 0.046	— 0.207	0.64	— 0.271	— 0.257	— 0.372	— 0.522
0.73	+ 0.050	— 0.174	+ 0.181	— 0.092	0.73	— 0.236	— 0.259	— 0.318	— 0.500
0.80	+ 0.041	— 0.116	+ 0.269	— 0.069	0.80	— 0.313	— 0.246	— 0.234	— 0.506
0.88	+ 0.111	— 0.131	+ 0.294	— 0.124	0.88	— 0.208	— 0.124	— 0.126	— 0.457
0.97	+ 0.026	— 0.234	+ 0.056	— 0.072	0.97	— 0.178	— 0.069	— 0.094	— 0.374

Da ein $\Delta\Phi$ die Differenz zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Mitteln zweier Abschnitte ein und derselben Sterngruppe ist, so ist $\Delta\delta$ von Anfang an streng eliminiert. Dies gilt für jede einzelne Station; die Notwendigkeit, mehrere Stationen genau auf einen Parallel zu legen, entfällt, desgleichen der Notbehelf, die $\Delta\delta$ über alle Stationen eines Parallels sowie über längere Zeitspannen hinweg zu mitteln, wie beim üblichen Verfahren. Auch braucht eine vereinzelt liegende Station, wie Batavia in -7° , nicht weggelassen zu werden; siehe A. N. Nr. 6290, S. 23.

Die Schlußfehler und die Σ gehen aus denselben beobachteten Zahlen hervor, sie stehen in einfachem Zusammenhang miteinander, wie anderweit näher erörtert wurde. Die gemeinsame, noch unerklärte Störursache verrät sich bei den Σ durch langsame, stetige Anstiege der Beträge; siehe Tabelle II, bedeutend stärker in A. N. Nr. 5960/61 u. a.; sie sind überlagert von 12- und 14monatigen Schwankungen. Um diese Anstiege zu eliminieren und diese Schwankungen für sich darzustellen, sind zwei Vorschläge¹ gemacht worden; hier habe ich den meinigen vorgezogen: sukzessive Mittel aus je zwölf aufeinanderfolgenden Σ -Werten abzuziehen von den einzelnen Σ -Werten.

Bei gleichen Untersuchungen über längere Zeitspannen vor 1922 wurden Mittel über je 14 oder auch über je 13 benachbarte Σ gebildet, je nach dem Überwiegen der Amplituden. In dem hier erwähnten Abschnitte 1936.0—40.0 überwiegt die jährliche Periode von etwa $0^\circ 08$.

¹ Eine neue Methode zur Berechnung der „Polbahn“. Von K. Ledersteger, A. N. Nr. 5813/14, Band 243, August 1931. Diese Methode kann man herleiten aus einem bekannten Satze der Analysis, siehe A. N. Nr. 5960, S. 125, 1933. Damit ist ihre Anwendbarkeit auf die unbekannte Störursache begründet.

Die nach 1922.7 kleiner gewordene 14monatige Amplitude ist mithin in diesen sukzessiven Σ -Mitteln bis auf etwa ein Sechstel ihres Betrages eliminiert.

Hienach findet man die folgenden Mittelreihen nebst Epochen:

$$1936.55 \frac{1}{12} (\Sigma_1 + \Sigma_2 + \dots + \Sigma_{12}) = S_1$$

$$1936.63 \frac{1}{12} (\Sigma_2 + \Sigma_3 + \dots + \Sigma_{13}) = S_2$$

— — — — —

Skizze I (siehe S. 8) veranschaulicht ihren stetigen Verlauf.

Für die am Beginn und am Ende einer S -Reihe übrigbleibenden Termine der einzelnen Σ extrapolierte ich an Hand von Kurven S -Werte, sie können um einige 0°01 unsicherer sein; in der folgenden Tabelle III der S sind sie durch Doppelpunkte gekennzeichnet.

Tabelle III.

S					S				
Jahresbruch	1936	1937	1938	1939	Jahresbruch	1936	1937	1938	1939
Ukiah					Mizusawa				
0.06	— 0°11:	— 0°201	— 0°334	— 0°520	0°06	— 0°08:	— 0°340	— 0°498	— 0°526
0.14	— 0.12:	— 0.208	— 0.347	— 0.528	0.14	— 0.11:	— 0.377	— 0.504	— 0.539
0.22	— 0.13:	— 0.216	— 0.366	— 0.535	0.22	— 0.13:	— 0.414	— 0.507	— 0.562
0.31	— 0.13:	— 0.229	— 0.386	— 0.540	0.31	— 0.14:	— 0.450	— 0.504	— 0.595
0.39	— 0.14:	— 0.239	— 0.409	— 0.548	0.39	— 0.15:	— 0.477	— 0.502	— 0.632
0.47	— 0.15:	— 0.249	— 0.428	— 0.55:	0.47	— 0.16:	— 0.487	— 0.512	— 0.68:
0.56	— 0.158	— 0.265	— 0.443	— 0.55:	0.56	— 0.171	— 0.490	— 0.527	— 0.69:
0.64	— 0.168	— 0.278	— 0.457	— 0.56:	0.64	— 0.195	— 0.493	— 0.536	— 0.69:
0.73	— 0.177	— 0.290	— 0.471	— 0.57:	0.73	— 0.222	— 0.494	— 0.543	— 0.68:
0.80	— 0.183	— 0.305	— 0.486	— 0.57:	0.80	— 0.249	— 0.496	— 0.548	— 0.70:
0.88	— 0.186	— 0.316	— 0.501	— 0.58:	0.88	— 0.279	— 0.496	— 0.542	— 0.71:
0.97	— 0.192	— 0.325	— 0.510	— 0.59:	0.97	— 0.308	— 0.495	— 0.528	— 0.72:
Gaithersburg					La Plata				
0.06	— 0°11:	— 0°570	— 0°955	— 1°107	0°06	— 0°01:	+ 0°008	+ 0°061	+ 0°208
0.14	— 0.14:	— 0.609	— 0.975	— 1.117	0.14	— 0.01:	+ 0.008	+ 0.082	+ 0.219
0.22	— 0.18:	— 0.644	— 0.993	— 1.130	0.22	— 0.01:	+ 0.010	+ 0.101	+ 0.239
0.31	— 0.22:	— 0.674	— 1.011	— 1.146	0.31	— 0.01:	+ 0.007	+ 0.121	+ 0.253
0.39	— 0.26:	— 0.705	— 1.035	— 1.161	0.39	— 0.01:	+ 0.002	+ 0.137	+ 0.258
0.47	— 0.30:	— 0.746	— 1.051	— 1.17	0.47	— 0.01:	— 0.000	+ 0.150	+ 0.28:
0.56	— 0.346	— 0.787	— 1.058	— 1.18:	0.56	— 0.008	— 0.002	+ 0.164	+ 0.29:
0.64	— 0.383	— 0.822	— 1.063	— 1.20:	0.64	— 0.011	— 0.005	+ 0.178	+ 0.31:
0.73	— 0.421	— 0.853	— 1.068	— 1.21:	0.73	— 0.010	— 0.005	+ 0.188	+ 0.32:
0.80	— 0.458	— 0.880	— 1.077	— 1.22:	0.80	— 0.005	+ 0.005	+ 0.189	+ 0.33:
0.88	— 0.497	— 0.913	— 1.088	— 1.23:	0.88	+ 0.002	+ 0.020	+ 0.190	+ 0.34:
0.97	— 0.532	— 0.938	— 1.098	— 1.24:	0.97	+ 0.008	+ 0.037	+ 0.198	+ 0.35:
Carloforte					Batavia				
0.06	— 0°07:	— 0°010	+ 0°050	+ 0°10:	0°06	+ 0°05:	+ 0°174	+ 0°579	+ 1°052
0.14	— 0.07:	0.000	+ 0.061	+ 0.11:	0.14	+ 0.06:	+ 0.186	+ 0.617	+ 1.075
0.22	— 0.07:	+ 0.012	+ 0.063	+ 0.12:	0.22	+ 0.07:	+ 0.202	+ 0.651	+ 1.097
0.31	— 0.06:	+ 0.024	+ 0.058	—	0.31	+ 0.07	+ 0.220	+ 0.689	+ 1.114
0.39	— 0.06:	+ 0.033	+ 0.056	—	0.39	+ 0.08:	+ 0.247	+ 0.732	+ 1.121

Tabelle III (Fortsetzung).

Jahresbruch	1936	1937	1938	1939	Jahresbruch	1936	1937	1938	1939
Carloforte					Batavia				
0.47	— 0°05:	+ 0°037	+ 0°062	—	0°47	+ 0°09:	+ 0°288	+ 0°775	+ 1°14:
0.56	— 0.048	+ 0.039	+ 0.072	—	0.56	+ 0.104	+ 0.332	+ 0.820	+ 1.15:
0.64	— 0.046	+ 0.043	+ 0.078	—	0.64	+ 0.115	+ 0.377	+ 0.860	+ 1.16:
0.73	— 0.041	+ 0.045	+ 0.08:	—	0.73	+ 0.124	+ 0.420	+ 0.901	+ 1.17:
0.80	— 0.033	+ 0.043	+ 0.08:	—	0.80	+ 0.134	+ 0.459	+ 0.954	+ 1.17:
0.88	— 0.026	+ 0.036	+ 0.09:	—	0.88	+ 0.147	+ 0.500	+ 0.998	+ 1.18:
0.97	— 0.020	+ 0.036	+ 0.10:	—	0.97	+ 0.162	+ 0.539	+ 1.026	+ 1.19:
Kitab					Adelaide				
0.06	+ 0°04:	— 0°086	— 0°122	— 0°116	0°06	— 0°20:	— 0°210	— 0°270	— 0°253
0.14	+ 0.05:	— 0.106	— 0.098	— 0.138	0.14	— 0.20:	— 0.210	— 0.276	— 0.267
0.22	+ 0.05:	— 0.122	— 0.067	— 0.163	0.22	— 0.21:	— 0.208	— 0.279	— 0.286
0.31	+ 0.04:	— 0.138	— 0.034	— 0.195	0.31	— 0.21:	— 0.202	— 0.278	— 0.312
0.39	+ 0.03:	— 0.158	— 0.004	— 0.218	0.39	— 0.22:	— 0.194	— 0.279	— 0.336
0.47	+ 0.02:	— 0.172	+ 0.005	— 0.23:	0.47	— 0.22:	— 0.188	— 0.281	— 0.36:
0.56	+ 0.005	— 0.172	— 0.004	— 0.26:	0.56	— 0.243	— 0.189	— 0.275	— 0.38:
0.64	— 0.007	— 0.166	— 0.022	— 0.28:	0.64	— 0.245	— 0.196	— 0.264	— 0.39:
0.73	— 0.020	— 0.161	— 0.043	— 0.29:	0.73	— 0.249	— 0.204	— 0.254	— 0.41:
0.80	— 0.035	— 0.156	— 0.063	— 0.30:	0.80	— 0.247	— 0.216	— 0.249	— 0.42:
0.88	— 0.052	— 0.147	— 0.081	— 0.30:	0.88	— 0.234	— 0.237	— 0.241	— 0.43:
0.97	— 0.069	— 0.137	— 0.097	— 0.31:	0.97	— 0.218	— 0.256	— 0.241	— 0.43:

In Skizze I entspricht vertikal: 1 mm einer Änderung der Polhöhe von 0°1, horizontal einem Monat.

Die S -Kurven sind stationsweise verschieden; sie erscheinen ortsgebunden, eine Abhängigkeit von der geographischen Länge ist nicht zu erkennen. Daß sie sich langsam und stetig ändern, verrät eine wichtige, für das Interpolieren nach der Zeit günstige Eigenschaft der Störursache.

Nach der Interpolation der S auf die Termine der Σ erhält man in den Unterschieden $\Sigma \Delta \Phi - S$ die vom Anstieg befreiten Polhöenschwankungen der acht Stationen. In diesen Unterschieden verschwindet zugleich der beim Aufsummieren der $\Delta \Phi$ willkürlich anzunehmende Ausgangswert.

Diese $\Delta \delta$ -freien Polhöenschwankungen aus 1936.0—40.0 zeigen zunächst überwiegend Jahresperiode. Um die Berechnung abzukürzen, habe ich einfache Mittel über die vier Jahre benutzt; diese acht Mittelreihen stehen in Tabelle IV.

Beim Blick über diese nach λ geordneten, stationsweisen Mittel der Unterschiede $\Sigma - S$ fällt ein Gefüge auf, schon unter den Vorzeichen allein. Die Ordinaten dieser acht Kurven liegen zwischen +0°19 und —0°16, entsprechend +6 m und —5 m an der Erdoberfläche. Die Ordinaten der in Frage stehenden empirical periodic terms bleiben unter 0°05, siehe Tabelle I; sie werden hier hervortreten als Reste eines Ausgleichs der acht Jahreskurven nach der einfachen Sonnenlänge \odot . Dieser Ausgleich läßt sich vereinfachen ohne nennenswerten Verlust an Genauigkeit; bekanntlich wurden nach 1922.7 die Tagesstunden der internationalen Messungen zweckmäßigerweise auf 23^h und 1^h verlegt, sie wurden immer gut eingehalten. Deshalb habe ich die Epochen der Gruppenmittel als gleichabständig angesetzt, wodurch die Normalgleichungen einer solchen periodischen Reihe bekanntlich in die bequeme aufgelöste Form übergehen. Die Fehlergleichungen haben die Form:

$$+k+c_1 \cdot \cos \odot + c_2 \cdot \sin \odot = n+v;$$

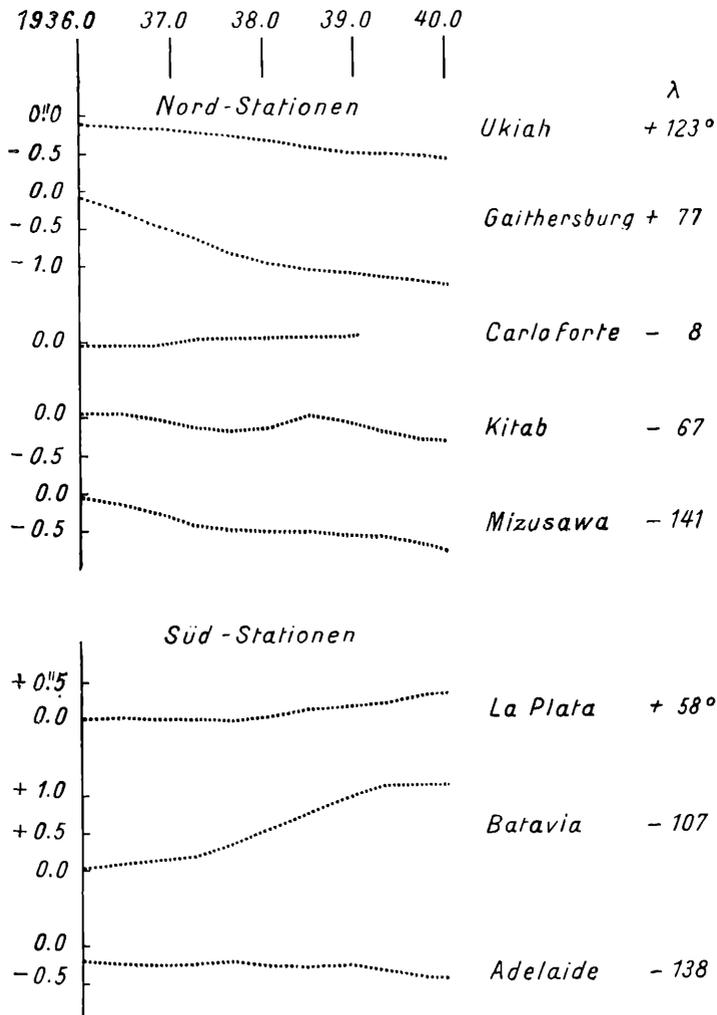
Tabelle IV.

Durchschnittliche Jahresperioden 1936.0—1940.0

Jahres- bruch	Uk.	Gaith.	La Pl.	Ca.	Kit.	Bat.	Ad.	Mizu.	Mittel über 8 Stat.
	Geographische Länge ¹								
	+ 123°	+ 77°	+ 58°	— 8°	— 67°	— 107°	— 138°	— 141°	
0.06	+ 0 ^o 10	0 ^o 00	— 0 ^o 07	0 ^o 00	+ 0 ^o 05	+ 0 ^o 06	+ 0 ^o 15	+ 0 ^o 19	+ 0 ^o 06
0.14	+ 0.11	+ 0.12	— 0.03	— 0.02	0.00	+ 0.05	+ 0.07	+ 0.14	+ 0.06
0.22	+ 0.12	+ 0.10	0.00	— 0.03	— 0.08	— 0.05	+ 0.03	+ 0.06	+ 0.02
0.31	+ 0.08	+ 0.07	+ 0.02	— 0.01	— 0.14	— 0.08	0.00	— 0.02	— 0.01
0.39	+ 0.03	+ 0.04	+ 0.07	— 0.05	— 0.16	— 0.15	— 0.05	— 0.10	— 0.05
0.47	— 0.04	+ 0.02	+ 0.09	— 0.02	— 0.11	— 0.13	— 0.12	— 0.06	— 0.05
0.56	— 0.05	— 0.02	+ 0.10	+ 0.07	— 0.04	— 0.12	— 0.07	— 0.10	— 0.03
0.64	— 0.08	— 0.02	+ 0.06	+ 0.10	+ 0.06	— 0.08	— 0.08	— 0.13	— 0.02
0.73	— 0.08	— 0.07	— 0.01	+ 0.05	+ 0.12	— 0.02	— 0.05	— 0.05	— 0.01
0.80	— 0.06	— 0.05	— 0.03	— 0.01	+ 0.17	+ 0.05	— 0.05	0.00	0.00
0.88	— 0.02	— 0.06	— 0.13	— 0.03	+ 0.18	+ 0.08	+ 0.06	0.00	+ 0.01
0.97	0.00	— 0.05	— 0.16	— 0.07	+ 0.10	+ 0.13	+ 0.11	+ 0.10	+ 0.02

¹ Nord- und Süd-Halbkugel.

Skizze I.



hierin bedeuten k , c_1 , c_2 zu bestimmende Konstante, die n die Ordinaten der acht Jahreskurven nach Tabelle IV, ν die übrigbleibenden Reste.

In der Endformel lassen sich die beiden Sonnenglieder in eines zusammenziehen: $\alpha_1 \sin(\odot - \odot_{01})$, worin bedeuten: α_1 die Amplitude, \odot_{01} die Anfangsphase. Die numerischen Ausdrücke stehen in Tabelle V.

Tabelle V.

	λ	α_1 (in 0°01)	\odot_{01}	Nord-	Süd-
				Halbkugel	
Ukiah	+ 123°	+ 10.1 ± 0.7	255°1 ± 3°8	+ 39°	
Gaithersburg..	+ 77°	+ 8.4 ± 1.2	276.1 ± 8.4	+ 39°	
La Plata	+ 58°	+ 10.7 ± 1.1	1.1 ± 5.9	—	— 35°
Carloforte	— 8°	+ 4.6 ± 1.6	55.6 ± 5.6	+ 39°	—
Kitab	— 67°	+ 16.0 ± 0.6	137.6 ± 2.3	+ 39°	—
Batavia	— 107°	+ 12.5 ± 0.7	175.9 ± 3.1	—	— 7°
Adelaide	— 138°	+ 10.8 ± 1.1	208.7 ± 6.1	—	— 35°
Mizusawa.	— 141°	+ 12.8 ± 1.5	213.3 ± 6.9	+ 39°	—

Die übrigbleibenden Reste ν bilden den Gegenstand der Untersuchung in Abschnitt III, siehe Tabelle VI.

B. In den Amplituden α_1 , geordnet nach λ , vermag ich keine Gesetzmäßigkeit zu erkennen, sie scheinen ortsgebunden zu sein. Dagegen liefert die Reihung der Anfangsphasen dieser Jahresschwankungen ein beachtenswertes Merkmal: die Geschwindigkeit ihrer Änderung ist größer als die der λ . Setzt man, um dies Verhältnis näher zu verfolgen, die acht Anfangsphasen \odot_{01} zu einem Ausgleich nach der Form an:

$$+ a + b \cdot \lambda = \odot_{01} + \mu,$$

wo a und b gesuchte Konstanten, μ übrigbleibende Fehler bedeuten, so ergeben sich die Fehlergleichungen:

Fehlergleichungen.

		μ	
		8 Stat.	5 Stat.
Ukiah...	+ a + 123 b + 105 = v_1	— 3°	— 13°
Gaithersburg.	+ a + 77 b + 83 = v_2	+ 32	+ 24
La Plata ..	+ a + 58 b — 1 = v_3	— 29	—
Carloforte	+ a — 8 b — 56 = v_4	— 2	— 6
Kitab	+ a — 67 b — 138 = v_5	— 11	— 12
Batavia	+ a — 107 b — 176 = v_6	0	—
Adelaide.	+ a — 138 b — 209 = v_7	+ 5	—
Mizusawa	+ a — 141 b — 213 = v_8	+ 5	+ 7
	Mittlerer Fehler einer Gleichung	± 19°	± 18°
		b_8	b_5
	Geschwindigkeit der Änderung b	— 1.23	— 1.28
		± .07	± .08

Der Ausgleich geschah sowohl ohne als auch mit den drei Südstationen; man erkennt, daß die Fehlergleichungen wie die μ sich auch hier unauffällig an die fünf nördlichen anpassen. Die beiden Geschwindigkeiten b_8 und b_5 unterscheiden sich um weniger als ihre mittleren Fehler. Nach einem Umlauf von λ um 360° hat sich die Anfangsphase \odot_{01} um $443 \pm 26^\circ$ geändert, welche Zahl die Aufmerksamkeit auf die Dauer der Chandler'schen Periode lenkt. Auch diese Eigenschaft verdient bei einer Suche nach einer Störursache vorgemerkt zu werden.

III.

Empirische halbjährliche Glieder nach einer $\Delta \delta$ -freien Methode.

Bei dem Ausgleich nach der einfachen Sonnenlänge (Abschnitt II A) verbleiben die in Tabelle VI zusammengestellten Reste.

Tabelle VI.
Reste des Ausgleichs der durchschnittlichen Jahresperioden.
(Einheit $0^{\circ}01$)

Jahresbruch	Uk.	Gaith.	La Pl.	Carlof.	Kit.	Bat.	Ad.	Miz.	Mittel über 8 Stat.
	Geographische Länge ¹								
	+ 123°	+ 77°	+ 58°	— 8°	— 67°	—107°	— 138°	— 141°	
0.06	— 2.0	— 4.2	— 3.2	— 4.3	+ 1.1	+ 2.2	— 4.2	— 5.9	— 2.6
0.14	— 0.3	— 3.8	— 3.4	— 2.8	— 2.2	— 1.8	+ 2.2	— 2.3	— 1.8
0.22	— 1.3	— 0.2	— 1.0	— 1.0	— 1.5	+ 1.9	+ 2.2	+ 1.3	0.0
0.31	+ 0.1	+ 2.0	+ 2.4	— 1.2	0.0	— 1.2	— 0.2	+ 3.0	+ 0.6
0.39	+ 0.6	+ 2.4	+ 1.4	+ 5.1	+ 1.6	+ 1.4	— 0.6	+ 4.5	+ 2.1
0.47	+ 2.3	+ 0.3	+ 0.9	+ 4.4	+ 0.4	— 1.7	+ 2.5	— 4.5	+ 0.6
0.56	— 1.2	0.0	— 1.4	— 3.1	+ 0.4	— 0.6	— 3.8	— 2.6	— 1.5
0.64	— 0.9	— 3.4	— 1.2	— 5.6	— 1.3	+ 0.4	— 1.2	+ 1.8	— 1.4
0.73	— 0.9	0.0	+ 0.4	— 5.4	0.0	+ 0.7	— 0.2	— 1.8	— 0.9
0.80	— 0.3	— 1.2	— 3.0	+ 2.8	— 0.5	— 0.2	+ 5.2	— 0.5	+ 0.3
0.88	+ 0.2	+ 2.4	+ 3.0	+ 2.5	— 1.1	+ 1.2	— 0.4	+ 6.0	+ 1.7
0.97	+ 3.5	+ 5.5	+ 4.5	+ 4.2	+ 3.1	— 2.7	— 1.5	+ 1.0	+ 2.2

¹ Nord- und Süd-Halbkugel.

Trotz der Kleinheit dieser Reste erkennt man beim einfachen Überblick, daß hier, schon den Vorzeichen nach, eine Gruppierung waltet; während in Tabelle V die Reihen gleicher Vorzeichen schräg nach rechts unten laufen, streichen sie in Tabelle VI fast horizontal. Ein Unterschied zwischen Nord- und Südstationen ist nicht ausgeprägt.

Die letzte Spalte der Tabelle VI enthält zeilenweise Durchschnitte; danach besteht eine allen Stationen gemeinsame Schwankung, die deutlich zwei Maxima und zwei Minima im Jahre aufweist. Gänge nach der geographischen Länge λ treten in einigen Zeilen auf.

Um das Gefüge in Tabelle VI noch deutlicher hervortreten zu lassen, habe ich diese Spalten nach bekanntem Vorgange geglättet, und zwar nach dem Schema: $\frac{1.+2.+3.}{3}$,

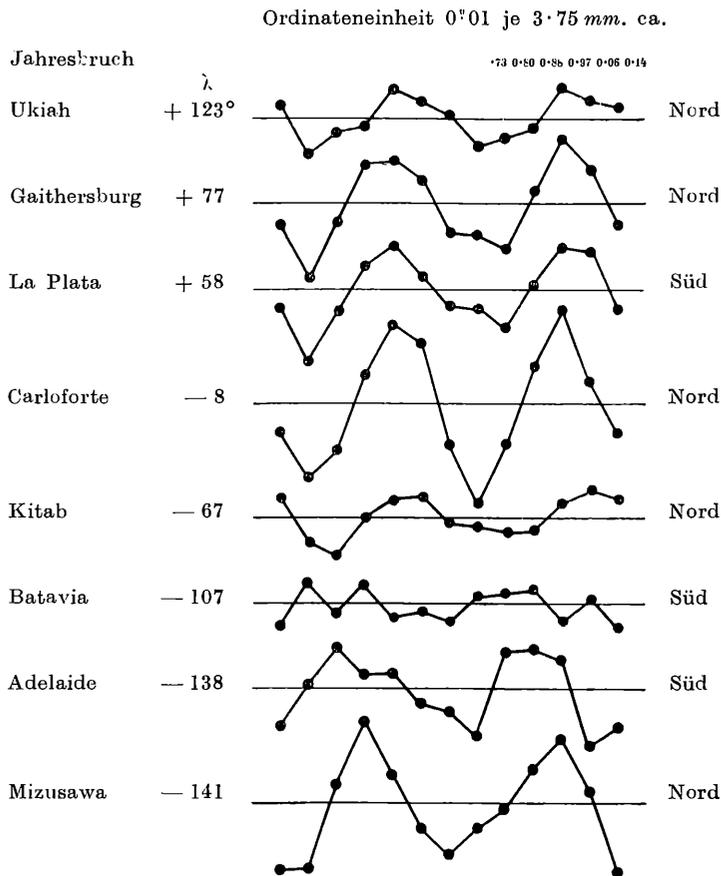
$\frac{11.+12.+1.}{3}$, $\frac{12.+1.+2.}{3}$; Skizze II zeigt das Ergebnis.

Skizze II bietet ein Gegenstück dar zu Tabelle I; deren Amplituden r_2 und Anfangsphasen A_2 stammen, wie schon in Abschnitt I erwähnt, aus A. N. 6270 und sind als Ergebnisse des „üblichen Reduktionsverfahrens“ vom monatlichen Wechsel des Deklinationssystems betroffen. Wie in Abschnitt I näher erörtert wird, fallen dort beim Zusammenfügen von fünf Nord- und von zwei der drei Südstationen die Amplituden auch der Nordstationen durchschnittlich auf die Hälfte ihres Betrages zurück und deutliche Gänge nach λ werden vollständig zerstört; eigentlich war zu erwarten, daß durch Vermehren der Beobachtungen die Darstellung sich bessert.

Im Gegensatz hierzu fügen sich, wie Skizze II vor Augen führt, die $\Delta \delta$ -freien Gruppen der drei Südstationen und der fünf Nordstationen gut ineinander. Die Amplituden α_2 bleiben unter $0^{\circ}03$, trotzdem lassen sie deutlich genug zwei Maxima und zwei Minima erkennen; dies verdient angemerkt zu werden als ein Kennzeichen der noch nicht aufgedeckten Störursache.

An der Hand einer Graphik läßt sich schätzen, daß die beiden Amplituden-Minima etwa liegen bei den geographischen Längen $+115^{\circ}$ und -110° , die beiden Maxima bei 0° und 180° , gültig für einen Streifen an der Erdoberfläche zwischen $+39^{\circ}$ und -35° Breite.

Skizze II.

Kleine empirische Glieder (geglättet), abgeleitet aus den $\Delta\delta$ -freien $\Sigma\Delta\Phi$.

Empirische Glieder ansetzen zu müssen, wird vielfach und mit Recht als unbefriedigend empfunden. Indessen erlangt man durch sie Kenntnis über die letzte Genauigkeit; diese liegt hier bei $\pm 0^{\circ}01$, teilweise darunter.

Die Messungen auf den acht Stationen während der vier Jahre 1936.0—1940.0 darf man als gleichwertig einschätzen. Einige Stationen mit günstigem Beobachtungswetter, wie Ukiah und Carloforte, erzielen kleine mittlere Fehler durch die große Zahl der Messungen. Ein Grund, eine dieser acht Stationen auszuschließen, besteht nicht.

IV.

A. Über die Ursachen der Widersprüche. Die Bearbeiter der Internationalen Polhöhenmessungen standen von Beginn an dauernd vor einem Dilemma.

Einerseits treten ständig die unerwarteten Schlußfehler entgegen, von gleicher Größenordnung wie die vermuteten Polhöhen Schwankungen selbst, verschieden nach Verlauf und Größe auf den verschiedenen Stationen, stetig in ihrem Verlauf, von ihrem theoretischen Werte ± 0 abweichend bis zu $1^{\circ}138$ (Band VI der „Ergebnisse“, S. 50), behaftet mit einem inneren mittleren Fehler: $\pm 0^{\circ}10$, nach Abbe dagegen mit einem mittleren Fehler von nur: $\pm 0^{\circ}03$ — $\pm 0^{\circ}04$. Sie werden bekanntlich erhalten als Summen über je zwölf aufeinanderfolgende Differenzen von zwei an einem Tage benutzter Sterngruppenmittel mit einer Zwischenzeit der mittleren Epochen von nur 2^h . Ihr stetiger, langsamer Verlauf läßt auf das Bestehen einer eigenen Gesetzmäßigkeit innerhalb von 24^h schließen, die aber bisher noch nicht klar genug aufgedeckt ist. Eine in den Bänden der „Ergebnisse“ bisweilen angeführte „Refraktionsanomalie“ kann nicht Störursache sein; der Kenner des Beobachtungsmaterials Walter

D. Lambert (Washington) bezeichnet sie als scape goat; zumindest ist ihr die 14monatige Periodizität fremd. Ein immerhin möglicher kleiner Einfluß kann bestehen.

Das systematische Verhalten der Schlußfehler auf den verschiedenen Stationen legt es nahe, eine gemeinsame Ursache zu suchen; so führt Mahnkopf in seiner umfassenden Erörterung der Ergebnisse in Band VI, S. 230 u. a., aus: Diese Überlegungen zeigen, daß die gleiche Störungsquelle, die in den Beobachtungen von Tschardjui zutage tritt, sich in geringerem Maße auch in den Beobachtungen der übrigen Stationen bemerkbar macht.“ Die Refraktion lehnt er ab.

Nach meiner Meinung könnten Festlandgezeiten der Stationsschollen ortsgebundene Störursachen sein, besonders dann, wenn sie Halbtags- oder Tagesperiodizität zur Polhöhen-schwankung beitragen; einer hypothetischen Rotationsachse der wirklichen Erde wird man schwerlich derartig kurzperiodische Schwankungen zuschreiben dürfen.

Andererseits gibt es noch keine entsprechend ausgearbeitete Methode, um die Polhöhe tagsüber mit ausreichender Genauigkeit zum Nachprüfen jener Gesetzmäßigkeit zu messen. Aber die Schlußfehler beweisen das Dasein von Änderungen der Polhöhe innerhalb von 2^h und dies Monate und Jahre hindurch in gleichem Sinne. Wenn man, zum Zwecke eines Überschlages, als Tageskurve eine einfache Sinuskurve ansetzt, so ergibt sich für deren Amplitude, wie ich schon vor Jahren zeigte, ein Betrag von mehreren 0^h1, mithin von der Größenordnung der Schwankung selbst.

Das nach Th. Albrecht im Zentralbüro des Internationalen Breitendienstes eingehaltene Reduktionsverfahren setzt Konstanz der Stationspolhöhen tagsüber voraus. Wenn aber Tagesschwankungen im Betrage von einigen 0^h1 bestehen, so stammen die nach dem Programm der Internationalen Erdmessung erhaltenen Ordinaten für die üblichen 12- und 14monatigen Kurven aus stündlich veränderlichen Tageskurven, die absoluten Zeiten für diese Ordinaten unterscheiden sich um die geographischen Längen und jene Kurven verlieren jeden Sinn.

Bei gesetzmäßigem Verlauf der Tageskurven können die Folgen der an einem Tage erhaltenen Ordinaten aus verschiedenen Stationen zwar wieder stetig verlaufende Kurven vorstellen (siehe Skizze IVa), aber sowohl diese als wie die nach dem Albrecht'schen Reduktionsverfahren berechneten Koordinaten $x y$ einer vorausgesetzten „Polbahn“ haben auch ihren Sinn verloren.

Auf die Gesetzmäßigkeit des Verlaufes der Polhöhen-schwankungen am Parallel +39°, schließlich auf die „Polbahn“ selbst könnte der Umstand Einfluß nehmen, daß entlang dem Parallel ein regelmäßiger Wechsel: Festland—Ozean—Festland—Ozean statthat; ferner: daß Ukiah, Carloforte, Mizusawa der Meeresküste nahe liegen, während Gaithersburg — Cincinnati, namentlich aber Tschardjui Binnenlandstationen sind.

Die sich immer von neuem aufdrängenden Schlußfehler wurden vom Zentralbüro ausführlich mitgeteilt und zu erklären versucht, so in Band III, S. 62/63; Band V, S. 74/75; Band VI, S. 50/52; dagegen enthält Band VII sie nicht mehr. Nach der Schluß-tabelle in Abschnitt I bewegen sich die Schlußfehler zwischen: +0^h595 (siehe Band III, S. 63) und —1^h138 (Band VI, S. 50); Skizze III gibt über die Umgebung dieses Höchstwertes ein Abbild für 1911.0 bis 1918.6. Dasselbst überschreiten sie fast ein halbes Jahr lang 1 und trotzdem werden die Polhöhenmessungen auf allen Stationen so behandelt nach dem Albrecht'schen Reduktionsverfahren, als ob sie einen gemeinsamen durchschnittlichen Schlußfehler von —0^h2 hätten. Da die verschiedenen Stationen sicher eigene, abweichende Schlußfehler haben, so werden also Eigenheiten der einen Station auf andere Stationen übertragen.

In den Bänden III und V werden nur Durchschnittswerte der kleinen Unterschiede zwischen den Polhöhendifferenzen je zweier benachbarter Sterngruppen mitgeteilt, aber das auffallende Verhalten ihrer Vorzeichen wird nicht entsprechend gewürdigt. Durch Abzählen findet man folgende Verteilung:

	+	—	0
1900—1906	20	51	1
1906—1912	15	56	1

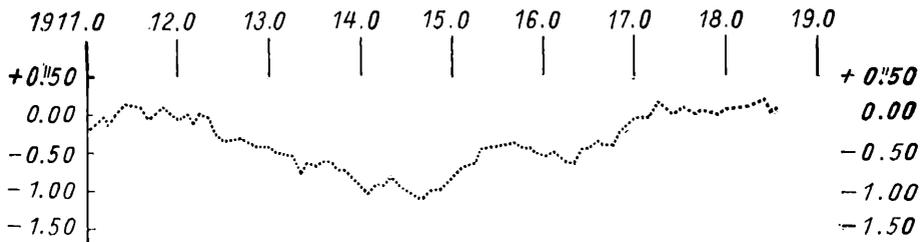
Diese ungleiche Verteilung der Vorzeichen, ferner örtliche Verschiedenheit, hauptsächlich aber das schroffe, systematische Abweichen vom theoretischen Wert $\equiv 0$ für jeden einzelnen Schlußfehler fallen so in die Augen, daß die in den drei Bänden III, V und VI gepflogenen Mittelbildungen nicht für Schulbeispiele empfohlen werden könnten. Es mutet deshalb befremdend an, in Band V, S. 73, lesen zu müssen:

„Der Mittelwert der Schlußfehler aller Stationen beträgt nach der vorletzten Zeile der Tabelle auf S. 72/73: $-0:204$, stimmt also mit dem in Band III für die Zeit 1900—1906 gefundenen ($-0:219$) vollkommen innerhalb der zu erwartenden Unsicherheit überein.“ Diese Handlungsweise macht es erklärlich, daß von Außenstehenden die nach solchem Reduktionsverfahren erhaltenen Polhöenschwankungen und Polbahnen in folgender Weise überschätzt werden: sie stellten seit über 50 Jahren einen gesicherten und wichtigen Bestandteil astronomischen Elementarwissens dar!

Aus gleichem Grunde ist die Aufnahme in Lehrbücher nicht empfehlenswert.¹

Falls Tagesschwankungen von solcher Größe bestehen, wie es die Schlußfehler und die ihnen verwandten Anstiege der Beträge der $\Sigma\Delta\Phi$ verlangen, so wird es auch bedenklich, die den „Ergebnissen“ beigegebenen Tabellen zur „Reduktion auf mittleren Pol“ oder „mittleren Ort“ anzuwenden auf Polhöhen-, Längen- und Azimutreihen, die an anderen Orten und zu anderen Tageszeiten angestellt wurden. Hierzu siehe den Nachtrag am Ende dieser Arbeit.

Skizze III.



Kurve der Schlußfehler in Tschardju

Ferner stellen beim Bestehen von Tageskurven die nach dem üblichen Reduktionsverfahren gewonnenen Polhöenschwankungen nur Folgen isolierter Punkte dar; ein Interpolieren mittels gerader Linien oder schlanker Kurven, etwa auf Zehnteljahre, ist nicht erlaubt. Dies hindert nicht, die zugrunde liegenden Messungen und Ergebnisse zu benutzen, um auf numerischem Wege Widersprüche, systematische Gänge und Eigenheiten der gesuchten Störursache aufzudecken, wie neue Periodizitäten, Veränderung bekannter Perioden, Zusammenhang mit kosmischen Argumenten, Abhängigkeit von doppelten Argumenten usw., wenn man auch dabei offen auf das Erlangen von Ergebnissen mit definitivem Charakter verzichten muß. Deshalb ist das offene Mitteilen von Widersprüchen und Eigenheiten verdienstvoller als ein Übergehen oder Unterdrücken. Zu solchen numerischen Studien regt das Beobachtungsmaterial für die Polhöenschwankung immer wieder an, weil neben Widersprüchen auch sehr gute Übereinstimmungen überraschen; hierüber siehe Abschnitt VI.

Gesetzmäßige Verlagerung der Luftschichten vermag vielleicht die Polhöhenmessung zu entstellen, sie könnte eine Jahresperiodik erzeugen, auch einen Beitrag zum Schlußfehler sowie zum Anstieg der $\Sigma\Delta\Phi$ -Beträge liefern; siehe hierüber meinen Aufsatz: „Über den Einfluß einer unsymmetrischen, veränderlichen Refraktion auf die Polhöenschwankung“, Potsdam 1896. A. N. Nr. 3365.

¹ Wie man in den Dreiecken einer Triangulation die Dreiecksschlußfehler nicht durch einfaches Mitteln und gleichmäßiges Verteilen auf die Dreiecke zum Verschwinden bringen darf, so darf man auch die Überschüsse über die mathematische Forderung: „zyklische Summe über je zwölf aufeinanderfolgende Differenzen zwischen je zwei benachbarten Sterngruppen-Mitteln (ist ein Schlußfehler) identisch gleich Null“ nicht willkürlich so anwenden, daß man Mittel über alle Stationen und über viele Jahre bildet und sie gleichmäßig auf die einzelnen $\Delta\delta$ -Differenzen aufteilt, wie es nach Band III, S. 63, und Band IV, S. 160 usw., geübt wurde.

Das Beobachtungsprogramm der Internationalen Erdmessung schloß von 1900 bis 1906 auch zwei Refraktionssterne ein in etwa 60° Zenitdistanz; nach dem „üblichen Reduktionsverfahren“ konnte ein Unterschied gegenüber den zenitnahen Sternen nicht gefunden werden, deshalb unterblieb die weitere Beobachtung. Wendet man aber die $\Delta\delta$ -freie $\Sigma\Delta\Phi$ -Methode an, so ergeben sich bemerkenswerterweise im allgemeinen kleinere Schlußfehler und Σ -Anstiege, als bei den gleichzeitig beobachteten zenitnahen Sternen. Es geht nicht an, die Schlußfehler allein Refraktionsstörungen zuzuschreiben; dem widerspricht schon die 14-Monats-Periodik in den Polhöenschwankungen.

B. Äußerungen anderer Forscher über die Störursache. Im Laufe der letzten Jahrzehnte erkannten mehrere Forscher, daß Verlagerungen einer angenommenen Rotationsachse der Erde allein die beobachteten Polhöhenänderungen nicht erklären können.

Nr. 1. In einer 1921 erschienenen Zuschrift: „On the Nonpolar Motion of Latitude“ sagt H. Kimura: „Recent investigations have revealed, that z (hier ein von der geographischen Länge λ unabhängiges Glied) results from several periodic terms. The first suggestion respecting this point was made by Schumann...“

Nr. 2. Auf S. 2 vom 1906 erschienenen „Ergänzungsheft Nr. 11 zu den A. N.“ schloß ich auf Grund rechnerischer Untersuchungen: „daß gesetzmäßig veränderliche Schwankungen von nahezu täglicher Periode und in meßbarer Größe die zugrunde liegenden Reihen zur Bestimmung der Polhöhe, ihrer Schwankungen und der Aberrationskonstanten wesentlich beeinflußt haben.“

Nr. 3. Die klassischen Euler'schen Gleichungen, die als theoretische Grundlage für die Untersuchung der Polhöenschwankung genommen wurden, gelten für einen mathematischen starren Körper, aber nicht für den wirklichen Erdkörper, dessen Teile (Kern, Schale, Blöcke, Schollen) gegeneinander und in sich beweglich sind. Der Mathematiker A. Bilimovic (Belgrad) hat mit Bezug auf die Polhöenschwankungen auseinandergesetzt, daß die Mechanik den Begriff einer Rotationsachse für einen derartigen, in sich beweglichen Körper nicht kennt.

Nr. 4. In der Zeitschrift: „Die Naturwissenschaften“, 13. Jahrg., Heft 34, S. 669, schreibt der Geologe O. Ampferer: „Ich stehe daher nicht an, die Beweglichkeit in und auf der Erde für das Gewöhnliche und die Unbeweglichkeit für das Seltene zu halten.“

Nr. 5. Nach fachmännischem Urteile läßt sogar eine Granitplatte eine Verbiegung von der Größenordnung $1 : 1$ Million ohne weiteres zu; dieser Bruch entspricht in Winkelmaß $0:2$. Bei der wirklichen Erdkruste tritt noch die Klüftung in verschiedenem Ausmaße hinzu, was die Verschieblichkeit erleichtert.

Nr. 6. Nach der bekannten Airy'schen Hypothese schwimmen die Schollen der Erdkruste auf den unteren Blöcken und Schichten. In einem Akademievortrag (Berlin 1942): „Die Gezeiten der festen Erde, des Meeres und der Atmosphäre“, sagt A. Defant auf S. 35: „Die fluterzeugenden Kräfte von Mond und Sonne greifen aber die gesamte Masse der drei Schichten (= Erdschichten) an und wir müssen uns deshalb bewußt bleiben, daß auch im Innern derselben Gezeitenerscheinungen zur Ausbildung kommen können.“ Ferner S. 36: „es ist auch zu erwarten, daß es interne Gezeitenwellen des Erdinnern geben wird, denen vielleicht eine gewisse tektonische Bedeutung zukommen mag.“

Nr. 7. In den Denkschriften der Akademie der Wissenschaften in Wien, Band 89, 1913, erschienen rechnerische Untersuchungen des Verfassers unter dem Titel: „Über Gezeitenerscheinungen in den Schwankungen der Stationspolhöhen“, darin werden numerische Beziehungen zum Mondumlauf behandelt; S. 83 bringe ich den Vorschlag: „über Bewegungen der schwimmenden Erdscholle könnten wohl korrespondierende Azimut- und Winkelbeobachtungen in gestreckten Zügen Aufschluß bringen.“

Nr. 8. In Band VII der „Ergebnisse“, S. 163, im Abschnitt Concluding Notes nennt H. Kimura als eine der Ursachen: Änderung in der Richtung der Lotlinie einer Station durch die Anziehung von Sonne und Mond; er hat hier namentlich das sogenannte vieldeutige z -Glied gemeint.

Nr. 9. Lotlinienänderung im Gezeitenrhythmus wies O. Hecker vom Geodätischen Institut in Potsdam nach vor etwa 30 Jahren aus Horizontalpendelmessungen mittels harmonischer Analyse; er schloß daraus auf Hebung und Senkung in der Kruste unter dem Pendel um Beträge in der Größenordnung $0.1m$.

Daß die leichter beweglichen Massen der Ozeane durch Mond und Sonne gesetzmäßig in Bewegung gesetzt werden, wird täglich vor Augen geführt durch Flut und Ebbe. Große Wassermassen werden horizontal hin und her, stellenweise um mehrere Kilometer, vertikal um mehrere Meter auf und ab bewegt; auf Grund der harmonischen Analyse der Gezeiten können die Termine von Flut und Ebbe, einschließlich der Besonderheiten: Spring- und Nippflut, gut vorausgesagt werden. Während über die Verschiebungen der Atmosphäre, des Meeres horizontal und vertikal, bei der festen Erdkruste vertikal Angaben, zum Teil Messungen vorliegen, fehlen meines Wissens solche beim Festland über horizontale Verschiebungen; nach der Airy'schen Hypothese dürfen auch solche zu erwarten sein.

Der Güte von A. Prey und K. Himpel verdanke ich die Kenntnis des Werkes von H. T. Stetson: „Earth, Radio and Stars“, Cambridge Mass., 1934; es enthält u. a. folgende Sätze auf S. 47:

„To account for a shift in the position of the zenith by $0^{\circ}4$, we must assume on the present hypothesis that the observing station has shifted by a corresponding amount on the earth's surface. Since the radius of the earth is known, it is easy to see this is equivalent to a lateral movement in a north and south direction of about ten feet. That tides in the solid earth which correlate with the movements of the moon may be responsible for such a condition, will be discussed in a subsequent chapter.“

Stetson gründet diese Schlüsse auf eine Anordnung von Polhöhenreihen nach dem Stundenwinkel des Mondes; die Reihen erstrecken sich auf mehrere Stationen und Jahre des Internationalen Breitendienstes.

Eine gleichsinnige, deutliche Abhängigkeit der Polhöhe fand ich neben anderen Zusammenhängen mit mehreren Mondargumenten im Anfange dieses Jahrhunderts aus der sehr verdienstlichen 6jährigen Potsdamer Reihe Schnauder-Hecker (1894—1900); siehe hierüber den späteren Abschnitt V; eine Andeutung gleicher Art gelang A. Prey vor kurzem nach Messungen eines Jahres auf der bevorzugten internationalen Station Carloforte.

Nr. 10. Eine harmonische Analyse der Ergebnisse aus den Breitenvariationen zwischen 1890 und 1938 veröffentlichte 1938 in den A. N. Nr. 6403, S. 305—320, E. Wahl vom Berliner Institut für Periodenforschung. Schon zehn Jahre vorher hatte K. Stumpff die Polbewegung aus dem Phasendiagramm des damals vorliegenden Materials von 1890 bis 1924 periodologisch analysiert. Aus Wahls Zusammenfassung der Ergebnisse seien hier folgende Punkte hervorgehoben:

„Die Existenz einer jährlichen Welle in der Polbewegung ist gesichert.“

„Die Untersuchung der Chandler'schen Periodizität ergibt, daß es sich hier um ein wesentlich komplizierteres Phänomen, als bisher angenommen, handelt.“

„Seit 1922 folgt die Polbewegung nun aber neuen Gesetzen.“

Im Schlußabsatz empfiehlt Wahl hinzuzunehmen geophysikalische Messungen wegen „Änderung des Elastizitätsmodulus der Erde“. Dies werde notwendig wegen der durch Newcomb vor etwa 50 Jahren aufgestellten Hypothese von „der durch die Elastizität der Erde verlängerten Euler'schen Periode“. Genaue Untersuchungen sollen zu einer neuen Erklärung des ganzen Fragenkomplexes führen.

Diesen periodologischen Untersuchungen Wahls kommt hoher Wert zu, weil sie auf Potentialentwicklungen beruhen, gegenüber dem rechnerischen, von Notbehelfen durchgesetzten Verfahren Albrechts.

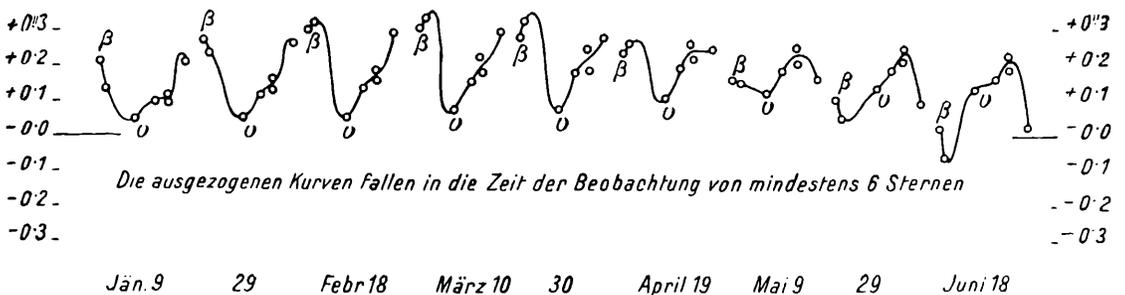
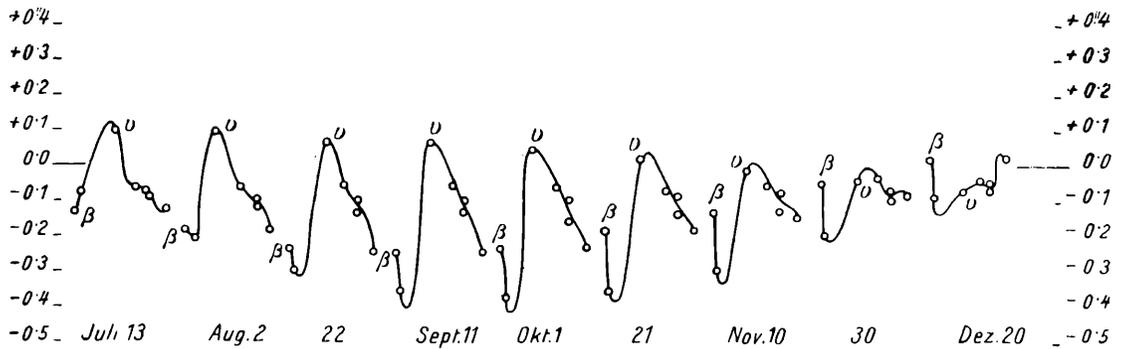
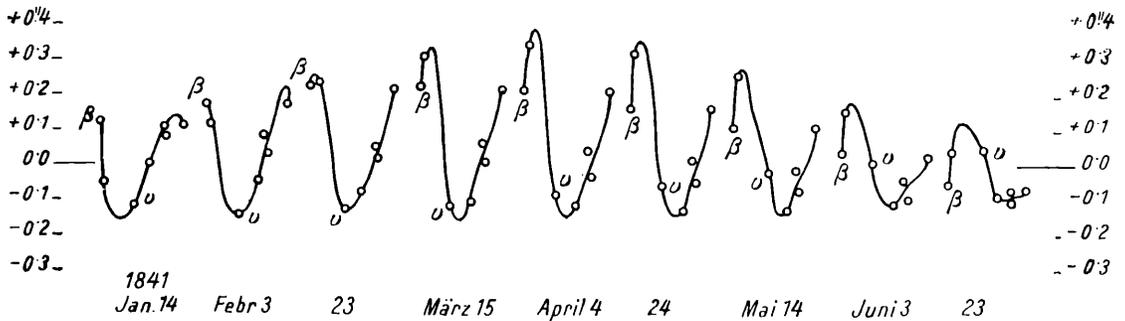
Die Feststellung Wahls, daß die Polbewegung seit 1922 neuen Gesetzen folgt, wiegt sehr schwer: von 1922.7 ab erfolgen, wie schon früher erwähnt, die internationalen Messungen zur Breitenvariation auf allen Stationen zweckmäßigerweise um 23^h und um 1^h , nicht mehr wie vorher mit Beginn der Dunkelheit, also im Winter etwa 2 Stunden früher als im

Sommer. Damit tritt zu den beiden früheren, unleugbaren Zeugnissen für Abhängigkeit der Polhöenschwankungen von der Tagesstunde (erstens die Schlußfehler, zweitens die Anstiege der $\Sigma\Delta\Phi$ -Beträge) ein drittes; es ist um so wertvoller, als es nach völlig anderem Verfahren gewonnen wurde.

Aufschlußreich sind ferner die Wahl'schen Bemerkungen über die Chandler'sche Periode. Die Euler'sche Periode gilt, wie schon bemerkt, für die Drehung eines starren Körpers um seine

Skizze IVa.

Tägliche Polhöenschwankungen, konstruiert aus den 7 Aberrationssternen W. Struves zu Pulkowa 1841/42
 $\beta = \beta$ Cassiopejæ und $v = v$ Ursæ majoris im I. Vertikal.



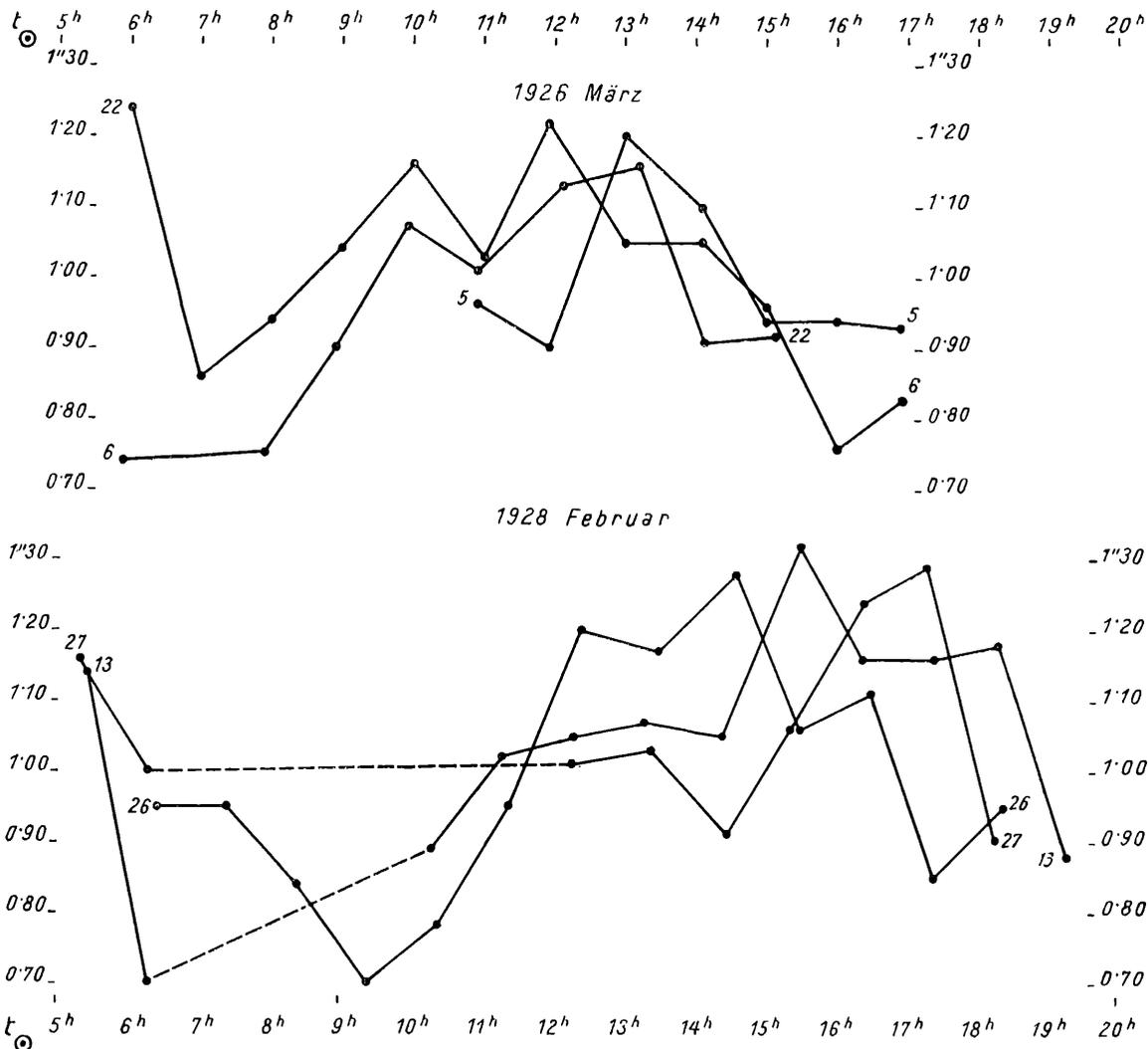
Rotationsachse. Bei der Größenordnung $0:1$ ist eine strenge Scheidung notwendig; die Erde ist kein starrer Körper. Sie ist in sich beweglich, zudem besteht Klüftung in kleinsten wie in großen Ausmaßen. Eine mathematische Rotationsachse darf nicht mehr als bestehend vorausgesetzt werden. Die Überbrückung durch Newcomb (Überleitung von der Euler'schen zur Chandler'schen Periode als Folge der Nachgiebigkeit des Erdkörpers) steht auf schwankendem Boden; da die Chandler'sche Periode schon mehrfach als veränderlich in Dauer und Amplitude erwiesen ist, kann sie schwerlich auf die Nachgiebigkeit des Erdkörpers gegründet werden.

Nr. 11. Im Februar 1940 übersandte mir V. Berg (Pulkowa) einen Abdruck seiner Arbeit: „Resultate aus den Beobachtungen mit dem großen Pulkowaer Zenithteleskop 1925.5 bis

1929.0“; er ersuchte um Stellungnahme, besonders zu § 11: „Tägliches Glied in den Breitenvariationen.“ Diese Reihe wurde ausdrücklich so weit über den Tag erstreckt, als es Wetter und Sicht nur erlaubten. V. Berg fand im Mittel über 3.5 Jahre eine Schwankung während der Tagesstunden 5^h nachmittags bis 8^h früh, die zwischen -0.05 und $+0.05$ lag. Die gewonnene Kurve ähnelte derjenigen, die N. V. Zimmermann 1915—1917 zwischen 5^h nachmittags bis 4^h früh erhalten hatte. Zudem stellte V. Berg aus abschnittweisen Mitteln fest, daß die tägliche Variation nicht konstant ist im Jahre.

Skizze IVb.

Tägliche Polschwankungen, beobachtet von V. R. Berg in Pulkowa 1925.5—1929.0 am großen Zenitteleskop.



Beim Durchsehen der Berg'schen Endergebnisse (Tabelle XXXVIII, S. 128—145) fielen mir mehrfach gleichartige Gänge an Tagen innerhalb benachbarter Wochen auf. Hier seien nur zwei dieser Gruppen ausgewählt und graphisch wiedergegeben, siehe Skizze IV b.

Die Tage sind

- aus 1926: März 5, 6 und 22,
- aus 1928: Februar 13, 26 und 27.

Die gestrichelten Verbindungslinien zeigen mehrstündige Pausen, daher etwas unsicheren Verlauf während einiger Stunden. Über die Skizze IV a siehe besonders die folgende Nr. 12.

Diese beiden Gruppen von je drei Tageskurven zeigen ähnlichen Verlauf, zwischen beiden besteht eine Verschiebung von etwa 3 Stunden, wie es auch Berg feststellte. Zur ersten Gruppe gehört eine Ganzamplitude wie etwa $0^{\circ}3$, zur zweiten eine solche von $0^{\circ}4$, eine strenge Analyse der ganzen Reihe würde sich lohnen.

In diesem Sinne beantwortete ich das Ansuchen V. Bergs und befürwortete zugleich eine Wiederholung der vor rund 100 Jahren ausgeführten Reihe W. Struves mit dem Anheimstellen, sie für das Ziel: Polhöhenänderung tagsüber, zu erweitern.

Nr. 12. W. Struve mag die soeben erwähnte, 1840/42 ausgeführte Reihe wohl von Anfang an so angelegt haben, daß etwaigen Einflüssen mit Tagesperiode begegnet werden konnte durch Mitteln über den Tag. Die sieben Sterne seiner Aberrationsreihe verteilen sich einigermaßen über die 24 Rektaszensionsstunden; fünf davon lassen sich in Pulkowa im I. Vertikal gut tagsüber erfassen. (Umgekehrt können Einflüsse mit Tagesperiode Werte der Aberrationskonstanten entstellt haben.) Jedenfalls bot sich hier die Möglichkeit, Tageskurven der Polhöhe zu gewinnen. Ihre Ableitung nebst der gewonnenen Kurvenschar selbst enthalten 1. das schon erwähnte „Ergänzungsheft Nr. 11 der A. N.“, Kiel 1906, auf S. 18 u. f., 2. die oben unter Nr. 7 aufgeführte Arbeit aus Band 89 der „Denkschriften“ auf S. 52 u. f. nebst Tafel III. Die aus der berühmten Struve'schen Reihe abgeleitete Tageskurvenschar (siehe Skizze IV a) findet durch die von V. Berg beobachtete Reihe eine gewisse Bestätigung; Pulkowa wäre die erste Station, für welche ein gesichertes Anzeichen vom Bestehen täglicher Polhöhenschwankung erkannt worden wäre. Die Berg'sche Reihe zeigt einen Weg, gesetzmäßige Veränderlichkeit der Polhöhe tagsüber zu erkennen, wenn auch nur im Bestfalle während 16 bis 17 Stunden in der Breite 60° . Dies könnte möglicherweise genügen, um bei bekanntem Gesetze dessen Konstanten zu bestimmen. Zu einem vollen Beweise gehörte aber 1. Erstrecken der Messung über 24 Stunden, 2. Nachweis des Bestehens der erforderlichen Kräfte.

Die Tageskurven der Skizze IV a fallen zeitweise gänzlich über oder auch unter die horizontale Nulllinie; somit können durch sie zugleich langperiodische (12- oder 14monatige) Schwankungen dargestellt werden, etwa vermittelt der Schwerpunkte der einzelnen Tageskurven; letztere sind dann den Punktfolgen der Schwerpunkte überlagert.

In Skizze IV a bedeutet β den Stern β Cassiopejae (damalige Rektaszension $0^{\text{h}} 1^{\text{m}}$), ν den Stern ν Ursae majoris ($9^{\text{h}} 40^{\text{m}}$); aus dem Verlauf der beiden Buchstabenfolgen erkennt man die Verschiedenheit der langperiodischen Kurven aus verschiedenen Sternzeiten. Dagegen verläuft die Kurve des zweiten Sternes (δ Cass., $1^{\text{h}} 16^{\text{m}}$) ähnlich jener für β Cass., so daß Stetigkeit des Überganges gewahrt erscheint; gleiches gilt für das Sternpaar Nr. 5 und 6.

Wieder andere Punktfolgen langer Periode erhielt man für ein Beobachtungsprogramm nach mittlerer Zeit.

Im übrigen erscheint es zweckmäßig, zunächst einen entsprechend dicht mit hellen Sternen besetzten Parallel am Himmel auszusuchen, so daß auf einer günstig gelegenen Station an der Erdoberfläche mit starkem Zenitteleskop auch über Mittag gemessen werden kann; Polarnacht und Zenitgegend verdienen besondere Beachtung.

Die obige Liste über Anzeichen täglicher Polhöhenschwankung könnte leicht erweitert werden. So folgt aus einer von E. Schönberg 1908/09 in Dorpat nach der Kettenmethode beobachteten 4-Gruppen-Reihe eine Polhöhenkurve zwischen den Tagesstunden $8^{\circ}2$ abends bis $4^{\circ}6$ früh, aus der man nach einem dem internationalen angepaßten Beobachtungsprogramm einen Schlußfehler von $-0^{\circ}8$ sowie eine $\Sigma\Delta\Phi$ -Reihe ableiten kann, die in einem Jahre bis $-0^{\circ}75$ ansteigt. Näheres hierüber siehe in meiner schon erwähnten Arbeit: „Gezeitenerscheinungen“, Wien 1913, S. 61/62, Fig. 3, und Tabelle 39. Die Dorpater Tageskurve ähnelt jener in obiger Fig. IV b für Pulkowa.

Aus historischem Interesse sei erinnert, daß vor 60 Jahren der belgische Astronom Folie (Uccle) sich eingehend damit befaßte.

V.

Über eine Möglichkeit, tägliche Polhöenschwankung zu messen.

Da die Gruppenmittel sich über einen Mondumlauf erstrecken, so können ganz- und halbmonatige Perioden nicht hervortreten. Mit solchem kurzperiodischen Mondeinfluß haben sich mehrere Forscher beschäftigt. Eine kleine Schwingung, abhängig vom Stundenwinkel des Mondes, folgt z. B. aus der Potsdamer Reihe 1894—1900; im Mittel über sechs Jahre fand ich laut Tabelle 4 im „Ergänzungsheft Nr. 11“ S. 4, als größte Ordinate $+0^{\circ}038$, als kleinste: $-0^{\circ}058$. Ebenda, S. 5 u. f., werden fünf in Carloforte 1900 beobachtete Umläufe eines halbmonatigen Gliedes wiedergegeben; das Ergebnis eines Ausgleichs nach der doppelten Mondlänge λ_q ist:

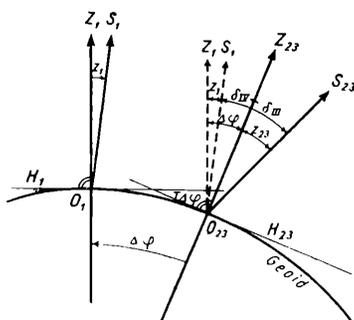
$$\Delta\varphi = +0^{\circ}031 \cos 2\lambda_q + 0^{\circ}001 \sin 2\lambda_q.$$

$$\pm \quad 5 \qquad \qquad \pm \quad 5$$

Die gute Darstellung erkennt man aus der dortigen Tafel I; der mittlere Fehler eines Abends wird $\pm 0^{\circ}022$.

Angesichts der in Abschnitt IV unter Nr. 6 erwähnten Tatsache, daß Gezeiten in der Atmosphäre, im Meere sowie in vertikaler Richtung an der Festlandoberfläche (ebenda, Nr. 9) bestehen, erhebt sich die Frage nach Gezeiten in horizontalem Sinne auf dem Fest-

Skizze V.



lande; sie sind meines Wissens zu wenig beachtet worden. Sie werden gewiß kleiner sein, als die der beweglicheren und leichteren Wassermassen der Ozeane, vielleicht aber größer als die durch Heckers Horizontalpendel bekanntgewordenen Hebungen und Senkungen, und dies im Hinblick auf das Schwimmen der Schollen auf ihren Unterlagen. Einige Meter würden genügen, um reale Polhöenschwankungen von der Größenordnung $0^{\circ}1$, entsprechend 3 m , an der Erdoberfläche zu verursachen. Verträglich wäre damit der seit Jahrzehnten erkannte Zusammenhang mit der Tageszeit, sowie die Stetigkeit im zeitlichen Verlaufe.

Wie bei den Gezeiten des Meeres würden sich auch diese kurzperiodischen Schwankungen mittels harmonischer Analyse ohne Notbehelfe verfolgen lassen (siehe Abschnitt IV, Nr. 10, E. Wahl).

Die Änderung der sogenannten „Lotabweichung“ kommt hier, als zu klein, nicht in Betracht.

Zur Kontrolle der Polhöhe werden auf einer Station ein erster Stern (Vertreter einer Gruppe) um 23^{h} , ein zweiter um 1^{h} usf. eingestellt. In Skizze V bedeuten

- O_{23}, O_1 die Örter des Zenitteleskopes,
- Z_{23}, Z_1 ihre Zenitpunkte,
- z_{23}, z_1 Zenitdistanzen der Sterne,
- $\delta_{\text{III}}, \delta_{\text{IV}}$ Deklinationen der Sterne,
- $\Delta\delta_{\text{III}}, \Delta\delta_{\text{IV}}$ Deklinationsverbesserungen der Sterne,
- $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_{23}$ Polhöhenunterschied der beiden Örter.

Die positiv zählenden z seien wegen Refraktion berichtigt.
Die Zeichen III und IV sind Gruppennummern.

Aus der Figur liest man die Winkelgleichung ab:

$$+z_1 + (\delta_{IV} - \delta_{III}) = +z_{23} + \Delta\varphi,$$

woraus als Polhöhenänderung zwischen 23^h und 1^h folgt

$$\Delta\varphi = +z_1 - z_{23} + \delta_{IV} - \delta_{III},$$

in Übereinstimmung mit der bekannten Formel $\varphi = z + \delta$. Die Gleichungen sind sinngemäß durch die $\Delta\delta$ zu ergänzen.

Obiger Figur liegen die Begriffe „Lotlinie“ und „Geoid“ zugrunde, dem bisher üblichen Verfahren zur Ableitung von „Polhöenschwankungen“ und einer „Polbahn“ der Begriff „Rotationsachse der Erde“. Die „Lotlinie“ ist im Kraftfelde beim Zenitteleskop klar definiert; man könnte sie in guter Annäherung elementweise durch leichte, automatisch sich richtende, reale Lote (oder durch die Libelle) darstellen. Dagegen wird das Bestehen einer Rotationsachse der realen, in sich verschieblichen Erde, wie schon früher erwähnt, bezweifelt. Den Eigenheiten verschiedener Methoden (Horrebow-Talkott, I. Vertikal) ist eine Formel für die $\Delta\varphi$ anzupassen.

Wie im „Ergänzungsheft Nr. 11, S. 18—25, näher ausgeführt wird, lassen sich aus der unter Nr. 12 besprochenen Tageskurvenschar (siehe Skizze IVa) nach einem, dem internationalen angepaßten Beobachtungsprogramm nebst dem üblichen Reduktionsverfahren ableiten:

langperiodische Polhöenschwankungen,
Schlußfehlerreihen,
 $\Sigma\Delta\Phi$ -Kurven mit ansteigenden Beträgen,
 $\Delta\delta$ -Reihe mit Jahresperiode

und unter bestimmten, zweckdienlichen Annahmen auch eine „Polbahn“, also fingierte Größen, die jenen vom Zentralbüro der I. E. veröffentlichten ähneln. Wie die Figur auf S. 25 des genannten „Ergänzungsheftes“ Nr. 11 ausweist, kann man auch eine Spiegelbildeigenschaft zwischen Polhöenschwankungen mit 12stündiger Zwischenzeit konstruieren, wie sie sich 1891/92 zwischen den historischen Messungen auf den Gegenmeridianen Berlin-Honolulu herausgestellt hatte.

Es ist somit die Möglichkeit geboten, mittels einer zweckmäßigen Sternliste und bei geeignetem Beobachtungsklima Tagesschwankungen der Polhöhe nachzuweisen, so daß sie regelrechter harmonischer Analyse unterworfen werden können.

VI.

Folgerungen und Vorschläge.

Wie schon mehrmals bemerkt wurde, liefert die seit 1890 bestehende Polhöhenkontrolle ständig Widersprüche, die zu groß sind und so gesetzmäßig verlaufen, daß sie weiterhin nicht übergangen werden dürfen.

Es handelt sich um:

die Schlußfehlerreihen,

vielfache Abhängigkeiten von doppelten Argumenten: \odot , t_{\odot} , α , geographische Länge λ , die Anstiege in den Beträgen der $\Delta\delta$ -freien $\Sigma\Delta\Phi$,

unzulässige Abhängigkeit des Verlaufes der Polhöenschwankungen und der „Polbahn“ von Änderungen des Beobachtungsprogramms.

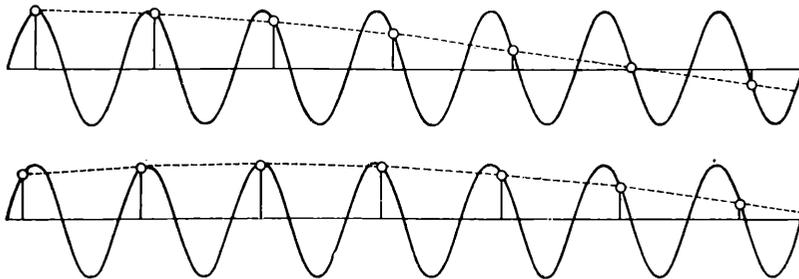
Wie schon früher erwähnt, gibt Band VII der „Ergebnisse“ die Schlußfehler überhaupt nicht mehr, trotzdem veranlassen die an sich scharfen internationalen Messungen immer weitere Suche nach der Störursache; denn beim numerischen Durcharbeiten dieses Beobachtungsmaterials treten bisweilen unerwartet gute Übereinstimmungen, Gänge bei nebeneinandergereihten Größen auf, die weit jenseits der Fehlergrenzen liegen. Es sei z. B. hingewiesen auf die letzten Spalten der früheren Tabellen IV und VI, sowie auf die Spalte: „Quadratische Mittel“ (aus übrigbleibenden Fehlern) in Band VI der „Transactions of the International Astronomical Union“, S. 141, Tabelle VIII, 1938. Hier stellte ich eine Reihe von zwölf Größen nebeneinander, die zwischen $\pm 0^{\circ}007$ und $\pm 0^{\circ}028$ liegen und dazwischen einen sicheren jährlichen Gang aufweisen.

Ein ähnliches Beispiel verdient hervorgehoben zu werden, es findet sich in Band VI der „Ergebnisse“, S. 241, in der Zusammenstellung der „periodischen Teile des z -Gliedes“ auf den sechs Stationen des Internationalen Parallels $+39^{\circ}$; insbesondere sei hier erwähnt, daß die sechs Koeffizienten des Gliedes mit dem Argument: doppelte Rektaszension α , liegen zwischen $+0^{\circ}011$ und $+0^{\circ}016$.

Die $\Sigma\Delta\Phi$ mit ihren wichtigen Eigenschaften (strenge Unabhängigkeit von den neben-sächlichen $\Delta\delta$, andauernde stetige Anstiege der Beträge) sind seit 1906 bekannt, die „Er-

Skizze VI.

Zur Entstehung einer scheinbaren langperiodischen Schwankung aus einer bestehenden kurzperiodischen Schwingung.



gebnisse“ gehen auf sie nicht ein. Das Gewicht der $\Sigma\Delta\Phi$ nimmt zwar wegen des Summierens kleiner Beobachtungsgrößen theoretisch dauernd ab; aber praktisch tritt keine Vergrößerung ihrer Unsicherheit ein, außerdem steht es frei, das Summieren vom anderen Ende zu beginnen, wobei die Gewichte in umgekehrtem Sinne verlaufen. Wie auch K. Ledesteger fand, ist der Verlauf der aus den $\Sigma\Delta\Phi$ folgenden Schwingungskurven glatter als derjenige nach dem üblichen Reduktionsverfahren Albrechts, weil dabei zwölfmal im Jahre das Deklinationssystem wechselt. Im Jahre 1935 habe ich in Nr. 6098 der A. N. gezeigt, daß der Einwand einer theoretischen Gewichtsabnahme sich praktisch nicht auswirkt, möglicherweise findet beim Summieren eine Fehlerkompensation statt.

Die beobachteten Tageswerte der Stationspolhöhen gelten für eine mittlere Tagesstunde; die Zeit zwischen den Epochen je zweier benachbarter Sterngruppen ist nur 2^h , also bleiben 22^h des Tages unkontrolliert und während dieser Zeit kann sich die Polhöhe um mehrere $0^{\circ}1$ bei ganz- oder halbtägiger Periodizität ändern, siehe Skizzen IV. Die nach dem „üblichen Verfahren“ erlangten durchschnittlichen Ordinaten bilden scheinbar stetige, schlanke langperiodische Kurven, wie noch näher auseinandergesetzt werden soll.

Für den Verlauf einer Tageskurve möge zunächst eine einfache Sinuslinie nach einer linearen Zeitskala (etwa Sternzeit) als bestehend angenommen werden, beobachtet werde nach einer anderen linearen Zeitskala (etwa mittlere Zeit). In der beigegebenen schematischen Skizze VI entspricht der Dauer der kurzperiodischen Schwingung eine Länge von 20 mm ;

das Beobachtungsprogramm schreibt Termine vor, die um je 21 mm fortschreiten, es wurde täglich nur eine Ordinate beobachtet.

Die beobachteten Ordinaten für sich allein liefern eine Folge isolierter Punkte, zwischen denen nicht interpoliert werden darf.

Ähnliche, scheinbar langperiodische Kurven erhält man, wenn man Sinuskurven mit langsam veränderlicher Amplitude oder gesetzmäßig sich ändernder Anfangsphase zugrunde legt (Mondzyklen) und dann nach einer linearen oder einer zyklisch veränderlichen Zeitskala Ordinaten entnimmt; so ging z. B. vor 1922.7 die Tageszeit der Beobachtung beim I. B. im Laufe des Jahres vor und zurück, je nach dem früheren oder späteren Eintritt der Dunkelheit.

Die so erhaltenen 12- oder 14monatigen Punktfolgen haben keine physikalische Bedeutung; bei Kleinheit überlagerter Tagesschwankung können sie allenfalls Annäherungen geben.

Sinngemäß sollte ferner die „Polbahn“ den Weg der Enden einer angenommenen Rotationsachse der Erde darstellen. Wenn aber die beiden schwimmenden, die Achsenenden enthaltenden Polschollen sowohl in sich wie gegen ihre Nachbarschollen verschieblich sind und wie diese den Gezeiten unterliegen, so entstehen Zweifel, ob die Koordinaten $x y$, die zwischen $+39^\circ$ und -35° Breite nach dem üblichen Verfahren ermittelt wurden, ohne weiteres übertragen werden dürfen auf die viele Tausende von Kilometern entfernten Polschollen.

Endlich müßten sinngemäß die beiden „Polbahnen“ für die beiden Enden einer mathematischen Rotationsachse einander gleich sein.

Um aus den beobachteten Stationspolhöhen die „Polbahn“-Koordinaten x und y berechnen zu können, werden „mittlere Örter“ der Stationen gebraucht; in den Bänden III bis VII der „Ergebnisse“ finden sich folgende (siehe Tabelle VII) Systeme solcher Örter für die sechs Stationen des Internationalen Parallels $+39^\circ$. Die Herkunft der unerwartet großen Differenzen unter ihnen bleibt ungeklärt.

Der zweite Wert für Tschardjui gilt für die Zeit nach der erwähnten Katastrophe im Juli 1909.

Tabelle VII.
Durchschnittliche Polhöhen im Parallel $+39^\circ$.

	Band der „Ergebnisse“, Seite					
	III 220	IV 237	V 178	V 194	VI 218	VII 152
	Zeitabschnitte					
	1900—1901			1900—1911		1923—1930
Mizusawa		3.623	Diff. — 0 ^o 021	3 ^o 602	Diff. — 0 ^o 205	3 ^o 397
Tschardjui.		10.670	— 0.008	10.662	—	—
				.887		
Carloforte	} + 39° 8'	8.930	+ 0.010	8.940	— 0.085	8.855
Gaithersburg		13.201	+ 0.037	13.238	—	—
Cincinnati		19.310	+ 0.054	19.364	—	—
Ukiah,		12.071	+ 0.048	12.119	— 0.088	12.031

Von einer Rotationsachse der wirklichen Erde könnte man sprechen, so lange als man darunter einen Zylinder von etwa 31 m Durchmesser verstehen will; dem entspricht im Winkelmaß an der Erdoberfläche etwa 1". Unterhalb dieser Grenze dagegen besteht infolge der Verschieblichkeit der Teile des Erdkörpers in sich und gegeneinander eine mathematische Erdachse nicht.

Zur Projektion auf die Sphäre diene ein Kegel besser als wie ein Zylinder.

Es entsteht die Notwendigkeit, Methoden auszuarbeiten, nach denen die Polhöhe auch tagsüber laufend und genau genug bestimmt werden kann; dies um so mehr, als anschließend

an die „Polbahn“ auch Tabellen laufend veröffentlicht werden, nach denen anderweit angestellte Polhöhen-, Längen- und Azimutmessungen auf „mittleren Ort“ reduziert werden sollen. Auf die sich hieran knüpfende große Verantwortung sei hingewiesen; vgl. obige Tabelle VII sowie den weiter unten folgenden „Nachtrag“.

In den letzten Jahrzehnten zeigten sich kleine Änderungen auch bei den geographischen Längen, u. a. bei den Längenunternehmungen der Union géodésique et géophysique internationale, die völlig getrennt von der Polhöhenkontrolle stattfanden. Die Änderungen bewegen sich um $0^s01 = 0^s15$, also in gleicher Größenordnung. Es wurde mehrfach üblich, sie als Änderungen der Rotationsdauer der Erde auszulegen. Anknüpfend an die Betrachtungen über Gezeiten im Abschnitte V sei bemerkt, daß neben den Komponenten in nordsüdlicher auch solche in ostwestlicher Richtung bestehen werden; bewegliche Stationen aber können nicht ohne weiteres als Ausgangsmarken für die Messung einer Rotationsdauer der sich drehenden Erde genommen werden.

Auch erscheint es unzweckmäßig, auf den Stationen der einen Messungsgruppe nur die eine Komponente, auf denen der anderen Gruppe nur die andere Komponente zu messen. Mehrere Autoren schlugen vor, den Polhöhen- und Längenmessungen auch geophysikalische Messungen auf gleicher Station zuzufügen. Polarnacht und Zenitgegend begünstigen Tagesmessung.

Für Längenmessungen müßten mindestens zwei gleiche Stationen zusammenarbeiten und mindestens drei, wenn man die Wichtigkeit unabhängiger Dreiecksschlüsse anerkennt. Wegen der Einheitlichkeit des für alle drei Meßarten erforderlichen Zeitdienstes erscheint es ratsam, diese gleichzeitigen Messungen eingerichteten Sternwarten zu überlassen.

Diese Sternwarten müßten in geotektonisch einwandfreier Lage ausgesucht werden; schon von verschiedenen Seiten wurde erkannt, daß manche Störeinflüsse von örtlichem oder regionalem Charakter sind. O. Hecker führte z. B. eine schroffe Eigenheit der Lotlinienkurven aus seinen Horizontalpendeln zurück auf Verschiedenheit der Untergrundnachgiebigkeit in den verschiedenen Azimuten.

Die Stationen des Internationalen Parallels $+39^\circ$: Ukiah, Carloforte, Tschardjui (später Kitab), liegen auf oder doch recht nahe bei der einen der zwei bekannten Bruchzonen der Erde, die von Kalifornien über das Mittelmeer—Turkestan nach den Philippinen streicht; Mizusawa, Batavia und wieder Ukiah liegen auf der anderen, den Großen Ozean umspannenden Bruchzone. Gaithersburg und Cincinnati dagegen gehören der „Nordamerikanischen Masse“ an.

In einer besonders unruhigen Gegend liegt die innerasiatische Station Tschardjui; sie zeigte vom Beginn des Internationalen Breitendienstes an den größten durchschnittlichen Schlußfehler (-0^s3) sowie den größten Einzelbetrag (-1^s138). Letzterer findet sich in Band VI der 1932 erschienenen „Ergebnisse des Internationalen Breitendienstes“ auf S. 50, innerhalb folgender Gruppe großer Werte:

Schlußfehler-Gruppe aus Tschardjui 1914/15.					
II—II	—	0^s952	VIII—VIII	—	1^s027
III—III	—	1.051	IX—IX	—	1.068
IV—IV	—	0.949	X—X	—	1.138
V—V	—	0.966	XI—XI	—	1.023
VI—VI	—	0.884	XII—XII	—	1.018
VII—VII	—	0.982	I—I	—	0.946

Hieraus folgt, daß sich die Polhöhe dieser Station innerhalb zweier Tagesstunden um durchschnittlich: $-1'' : 12 = -0^s08$ geändert hat. Legt man für eine zugehörige tägliche Polhöhenchwankung ein Sinusgesetz mit einem oder auch zwei Umläufen zugrunde, so folgen für die Amplituden Beträge von mehreren 0^s4 . Keinesfalls dürfen die Polhöhen solcher Stationen des 39° Parallels als konstant tagsüber angenommen werden; dies ist wichtig für das Ableiten der $\Delta \delta$ sowie der hypothetischen „Polbahn“-Koordinaten, weil der Begriff der Gleichzeitigkeit auf allen Stationen mit dieser Annahme steht und fällt.

Es sei daran erinnert, daß im Jahre 1909 diese auffällige Station in größter Hast umsiedeln mußte, weil das Flußbett des östlich von ihr fließenden Amu Darja unerwartet schnell nach Westen wanderte. Eine tektonisch derart unruhige Gegend eignet sich weniger zum Ermitteln von Polhöenschwankungen der Größenordnung $0^{\circ}1$, als zum Prüfen der Verschieblichkeit in der Erdkruste.

Wird eine „Polbahn“ allein aus den drei wichtigen Stationen Ukiah, Carloforte, Mizusawa für 1912—1918 konstruiert, so folgen nach den Rechnungen des Zentralbüros des Internationalen Breitendienstes (Band VI, S. 228) für die drei anderen Stationen Tschardjui, Gaithersburg, Cincinnati nachstehende Differenzen gegen die daselbst angestellten Beobachtungen. Darin läßt Tschardjui die bekannte 6-Jahres-Periodizität erkennen.

Tabelle VIII.

Übrigbleibende Fehler bei Darstellung durch die „Polbahn“ aus der Kombination Ukiah—Carloforte—Mizusawa allein.

	Tschardjui	Gaithersburg	Cincinnati
1912	+ 0 ^o 123	— 0 ^o 028	— 0 ^o 028
1913	+ 0.090	+ 0.005	+ 0.034
1914	+ 0.181	— 0.029	+ 0.008
1915	+ 0.243	—	+ 0.041
1916	+ 0.254	—	—
1917	+ 0.224	—	—
1918	+ 0.091	—	—

Die hier hervortretende Abhängigkeit der sogenannten „Polbahn“ von der Auswahl der Stationen ist sehr bedenklich; auf sie hatte K. Ledersteger bereits früher aufmerksam gemacht.

Nebenbei sei auf die geotektonische Kleinarbeit hingewiesen, die infolge von Gezeiten innerhalb der festen Erde geleistet wird; vgl. dazu die im Abschnitt IV B unter Nr. 6 wiedergegebene Stelle aus A. Defant's Akademierede über die „tektonische Bedeutung interner Gezeitenwellen“.

Wie 1891/92 in Honolulu auf dem Gegenmeridian von Berlin zwei Stationen mit Erfolg eingerichtet wurden, um dort Betrag und Sinn der Polhöhenänderung zu prüfen, so wäre es wichtig, nunmehr einige, in geotektonischer Hinsicht günstig gelegene Stationen auszurüsten, nicht nur, um räumliches und zeitliches Ausmaß horizontaler Festlandwogen zu erkunden, sondern auch zu gegenseitiger Kontrolle.

Zwischen den Meereszeiten von Küstenorten bestehen regionale Zusammenhänge, auch sei auf das Bestehen von Knotenpunkten im Ozean erinnert. Im Anklänge hieran sei hingewiesen auf das im Abschnitt III geschilderte Gefüge zwischen acht Polhöhenkurven, wie es aus Skizze II ersichtlich ist; es wäre interessant, zu erfahren, ob der daraus zu folgernde Zusammenhang zwischen geographischen Längen und den Amplituden bestehen bleibt beim Einschalten weiterer Polhöhenstationen auf dem Festlande.

Zusammenfassung.

Das übliche Verfahren (usual manner) des Zentralbüros der Internationalen Erdmessung steht von Beginn an still beim Auftreten der „Schlußfehler“. Die weiteren Bemühungen aller bisherigen Bearbeiter scheitern bei der Aufgabe, die (im übrigen nebensächlichen) $\Delta\delta$ aus den von einer ungeklärten Störursache betroffenen Polhöhenmessungen auf den acht Stationen zu ermitteln.

Diese Ursache könnte, entweder ganz oder zum überwiegenden Teile, Wirkung von Gezeiten des Festlandes sein. Die gegen die seit Jahrzehnten bekannten Schlußfehler ergriffenen Notbehelfe verhindern das Berechnen definitiver Stationspolhöhen und „Polbahn“-Koordinaten; die Berechtigung zu der für letztere nötigen Interpolation auf Jahreszehntel ist anzuzweifeln, da der Begriff „Gleichzeitigkeit tagsüber“ nicht mehr zugestanden werden kann.

Das Beibehalten von 0⁰⁰¹ als letzte geltende Dezimale läßt ein übertriebenes Bild von der Genauigkeit der Ergebnisse entstehen.

Von den beiden, in Strenge $\Delta\delta$ -freien Verfahren zum Berechnen von Polhöhenchwankungen fußt das Ledersteger'sche auf einem Mittelwertsatze der Analysis, das vom Verfasser schon vor 40 Jahren ausgearbeitete auf Mittelbildern über die beiden, aus den Messungen selbst folgenden 12- und 14monatigen Periodizitäten. Auch die nach diesen beiden Verfahren erlangten Ergebnisse sind durch die erwähnte Störursache betroffen.

Der Charakter sowohl der „Ergebnisse“ als auch derjenige der sich dabei ständig aufdrängenden Mißstimmigkeiten und Widersprüche blieb seither nahezu der gleiche, letztere verraten mit Sicherheit einen Einfluß der Tageszeit auf die Messungen der Stationspolhöhen, verschieden auf verschiedenen Stationen, von der Größenordnung 0¹, so daß er nicht übergangen werden darf. Wenn aber diese Einflüsse aus 24stündiger Periodizität hervorgehen, und weiter, da die Zeitspanne zwischen den mittleren Epochen zweier Nachbargruppen nur 2 Stunden beträgt, so ist ein hinreichender Schluß auf die übrigen 22 Stunden nicht möglich. Der Theorie hat bisher ein unvollständiges Bild über die Polhöhenchwankungen vorgelegen, die Interpolation nach der Zeit auf Zehnteljahre wird sinnlos.

Immerhin wäre es denkbar, daß eine zutreffende Theorie künftig die Widersprüche beseitigen und die bisherigen, an sich genauen Messungen von Bruchstücken der eigentlichen Polhöhenchwankung noch ausnützen kann. Solange eine einwandfreie Theorie nicht vorliegt, hat die Empirie das Recht, sich rechnerisch und graphisch in die beobachteten, fluktuierenden Zahlenmassen dieses interessanten Naturvorganges einzufühlen.

Es lohnt nicht, die Messungen auf den 8 Stationen des Internationalen Breitendienstes wie bisher fortzusetzen und sie nach dem „üblichen Verfahren“ mit seinen mehrfachen „Notbehelfen“ zu verwenden zum Berechnen einer hypothetischen „Polbahn“ für die wirkliche Erde. Der Aufwand an Arbeit, Zeit und Kosten ist besser angebracht auf das Erstrecken über alle Tageszeiten von gleichzeitigen astronomischen und geophysikalischen Messungen mit dem Ziele, auf geotektonisch einwandfreien und für astronomische Messung am Tage günstig gelegenen Stationen das Bestehen nordsüdlicher und ostwestlicher Komponenten von Festlandzeiten¹ zu erforschen. Unter Vorbehalt besserer Vorschläge erscheint mir für die Nordsüdkomponente der folgende mindestens möglich, da er sich auf bereits ausgeführte Messreihen stützen kann; vgl. hierzu unsere Skizzen IVa und IVb:

1. Ausführen einer Polhöhenreihe nach Art der klassischen Struve'schen Aberrationsreihe; gleichzeitig, auf gleicher Station und mehrere Jahre lang;
2. Wiederholen der Berg'schen Reihe am Zenitteleskop.

Damit wird die Möglichkeit geschaffen, die aus der ersteren Reihe konstruierbaren Tageskurven² zu bestätigen mittels der gemessenen Kurvenstücke der zweiten Reihe.

Nachtrag während der Korrektur im September 1943.

Bedenkliches Verhalten des Kimura-Gliedes (z -Gliedes) sowie die starke Abhängigkeit der sogenannten „Polbahn“ von der Auswahl der Stationen (s. o.) veranlassen E. Buchar und K. Ledersteger zu der Warnung: „von einer Korrektur anderweiter Beobachtungsreihen wegen Polhöhenchwankung gemäß dem Internationalen Breitendienst vorläufig gänzlich Abstand zu nehmen“. Siehe das Sonderheft 24/25 zu den „Nachrichten des Reichsvermessungsdienstes“, Berlin 1943.

Wien 1943.

Richard Schumann.

¹ Vgl. hierzu A. Prey's Aufsatz: „Über die Konstitution der Erde und ihrer Kruste“ im Almanach der Akademie der Wissenschaften in Wien, Jahrgang 1943, insbesondere S. 16.

² Numerische Untersuchung über Polhöhenchwankung und Aberrationskonstante. Ergänzungsheft Nr. 11 der Astronomischen Nachrichten; § 8. Kiel 1906.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Denkschriften der Akademie der Wissenschaften.Math.Natw.Kl.
Frueher: Denkschr.der Kaiserlichen Akad. der Wissenschaften. Fortgesetzt:
Denkschr.oest.Akad.Wiss.Mathem.Naturw.Klasse.](#)

Jahr/Year: 1946

Band/Volume: [106](#)

Autor(en)/Author(s): Schumann Richard

Artikel/Article: [5. Die Möglichkeit von Polhöenschwankungen infolge von Gezeiten der festen Erdkruste. \(Mit 6 Textfiguren und 8 Tabellen.\) 1-25](#)