



Ein Versuch zur Bestimmung der absoluten Lotabweichung aus visuellen Satellitenbeobachtungen

Gottfried Gerstbach ¹

¹ *Technische Hochschule Wien, 1040 Wien, Karlsplatz 13*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **59** (5), S. 139–148

1971

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Gerstbach_VGI_197114,  
  Title = {Ein Versuch zur Bestimmung der absoluten Lotabweichung aus visuellen  
          Satellitenbeobachtungen},  
  Author = {Gerstbach, Gottfried},  
  Journal = {{{\0}sterreichische Zeitschrift f{{\u}r Vermessungswesen}},  
  Pages = {139--148},  
  Number = {5},  
  Year = {1971},  
  Volume = {59}  
}
```



stark ins Gewicht. Hier ist die Blockausgleichung mit Modellen und Lage-Höhe-Iteration ganz besonders zu empfehlen.

Literatur

- [1] *Ackermann, F.*: Lageblockausgleichungen mit großen Punktmengen, BuL 38, 232–240, 1970.
- [2] *Ebner, H. und Wagner, W.*: Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen am Planimat von Zeiss — eine Geräteuntersuchung, BuL 38, 249–257, 1970.
- [3] *Schut, G. H.*: Development of programs for strip and block adjustment at the National Research Council of Canada. NRC - 7632, 1963.
- [4] *Kubik, K.*: Survey of methods in analytical block triangulation. ITC Publications A 39, 1967.
- [5] *Proctor, D. W.*: The adjustment of aerial triangulation by electronic digital computers. The Photogrammetric Record, 24 – 33, 1962.
- [6] *King, C. W. B.*: A Method of Block Adjustment. The Photogrammetric Record, 381–384, 1967.
- [7] *Gyer, M. S. and Kenefick, J. F.*: Block Analytical Aerotriangulation for Commercial Mapping on a Medium Scale Computer. Proc. of Symposium on Comp. Phot., Syracuse/USA 1969.
- [8] *Ebner, H.*: Das Programm-Paket PAT-M für die räumliche Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, in Druck.

Ein Versuch zur Bestimmung der absoluten Lotabweichung aus visuellen Satellitenbeobachtungen

Von *Gottfried Gerstbach*, Wien

Die Satellitengeodäsie verfügt mit der „Bahnmethode“ [1] über ein Verfahren, das es gestattet, absolute, auf den Erdschwerpunkt bezogene Koordinaten der Beobachtungsstationen abzuleiten. Der Ort eines künstlichen Satelliten ergibt sich hierbei aus seinen Bahnelementen unter Berücksichtigung von Gravitationskoeffizienten und sonstigen Störungen, die Beobachtungen selbst aber liefern den Stationsort.

Legt man der Auswertung von Messungen einer Station ihre astronomische Breite φ' und Länge λ' zugrunde, so bedeutet die Existenz einer absoluten Lotabweichung fehlerhafte geozentrische Ausgangskordinaten. Dieser systematische Einfluß wird deutlich hervortreten, wenn man annimmt, daß restliche Bahnstörungen und Beobachtungsfehler durch ihren eher zufälligen Charakter im Mittel herausfallen. Im folgenden wird dieser Gedanke auf Beobachtungen im Netz des Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO) angewandt.

1. Beobachtungsstationen und Bahnbestimmung

Das SAO errechnet laufend die Bahnen von etwa 20 Satelliten und benützt dazu in erster Linie photographische Aufnahmen der 16 mit Baker-Nunn-Kameras ausgerüsteten Observatorien, aber auch Messungen der „Moonwatch“-Stationen. Moonwatch ist eine weltweite Vereinigung von Amateurbeobachtern, die in der Mehrzahl visuell arbeiten. In Österreich befinden sich drei Stationen.

Die in einem Zeitraum von 1–2 Wochen im SAO einlangenden Beobachtungen eines Satelliten werden der Auswertung durch das Differential Orbit Improvement

Program (DOI) unterworfen. Es handelt sich dabei um ein Bahnverbesserungsprogramm; analog zur Methode der harmonischen Analyse werden die Koeffizienten von Reihenausdrücken empirisch so bestimmt, daß sich die Bahn den Beobachtungen möglichst gut anschmiegt. Das Gravitationsfeld der Erde wird dabei durch Kugelfunktionen bis zur 8. Ordnung dargestellt. [2], [3].

Aus den erhaltenen Bahnelementen rechnet das DOI auf den Zeitpunkt jeder einzelnen Beobachtung zurück und druckt die *Residuen*, die Differenzen zwischen gemessenen und gerechneten Satellitenpositionen, aus. Auf diesen Residuen basiert die folgende numerische Untersuchung.

2. Die verwendeten Beobachtungen

In den Jahren 1966—1967 konnte ich von acht der oben genannten Satelliten (Tabelle 1) 131 Positionen messen, mußte allerdings 15% wegen offenbar zu großer Störungen eliminieren. Die Beobachtungen wurden mit einem lichtstarken Feldstecher vor dem Sternhintergrund durchgeführt und erreichen eine Genauigkeit von 10'' bis 80''. Die zugehörigen Zeiten wurden mit Stoppuhren und Zeitsignal festgehalten. Beobachtungen mit einem theodolitähnlichen Gerät konnten wegen der wesentlich größeren Fehler nicht einbezogen werden.

Tabelle 1

Sat.-Nr.	Name	Neigung	Umlaufzeit
60 009 01	Echo 1	47,30	113—110 ^m
60 009 02	Echo Rakete	47,2	118,1
61 028 01	Midas 4	95,8	166,0
62 060 01	Anna 1 B	50,1	107,9
63 053 01	Explorer 19	78,7	115—114
64 004 01	Echo 2	81,5	108—107
64 076 01	Explorer 24	81,4	115—110
66 056 01	Pageos	86,8	180,6

Die Koordinaten der Referenzsterne, einem umfangreichen Sternkatalog [4] entnommen, führten zu Satellitenpositionen in Rektaszension und Deklination. Diese wurden, zusammen mit den entsprechenden Residuen, nach den bekannten Formeln der sphärischen Astronomie ins Horizontsystem transformiert. Einen kleinen Ausschnitt dieser Rechnungen zeigt Tabelle 2. Die Spalten 2—5 beinhalten Datum, Zeit und Himmelskoordinaten, die nächsten zwei Azimut und Höhenwinkel. Die Residuen finden sich jeweils in der folgenden Zeile.

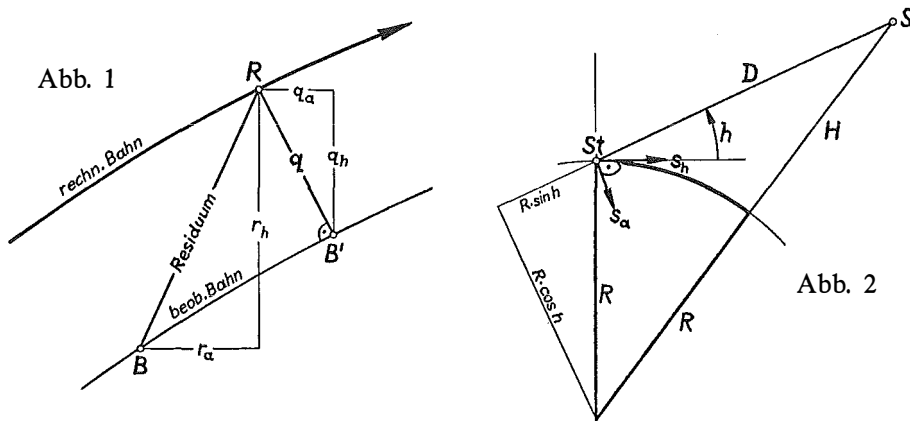
Die Koordinaten der Beobachtungsstation 0716 in Wien-Hietzing wurden astronomisch bestimmt und ergaben sich zu

$$\varphi' = 48^{\circ} 10' 14''.6 \text{ und } \lambda' = 16^{\circ} 17' 47''.1.$$

Die Seehöhe beträgt 220 Meter ü. A.

3. Berechnung der Stationsverschiebung aus den einzelnen Beobachtungen

In Abbildung 1 stellt der Pfeil die Bewegungsrichtung eines Satelliten dar. R sei die gerechnete, B die beobachtete Satellitenposition und somit \overline{RB} das Residuum, zerlegt in die Komponenten r_a (Azimutdifferenz) und r_h (Höhendifferenz). Es ist ersichtlich, daß in \overline{RB} auch ein eventueller Fehler der Zeitnehmung steckt, daher muß das Residuum quer zur Bahn (q) benutzt und die Position B in B' übergeführt werden. Zu diesem Zweck wird die momentane Bewegungsrichtung des Objektes benötigt;



ein ähnliches Programm, wie es zur Vorausberechnung von Satellitenörtern dient, lieferte diese Werte auf Grund der Bahnelemente. Ein Ausschnitt ist in Tabelle 3 zu sehen. S steht für Satellitennummer, I für die Bahnneigung, T und L sind Zeitpunkt und Länge des letzten Äquatordurchgangs. Die ersten 3 Kolonnen enthalten Bahnwinkel, Zeitdifferenz und Höhe in Meilen, die folgenden 3 die MEZ sowie Azimut und Höhenwinkel.

Tabelle 2

Sat.-Nr.	Datum	UT	RA	δ	a	h
6102801	670308	21 ^h 53 ^m 51.4 ^s	14 ^h 10 ^m 47 ^s	44°09'30''	71,1480	47,9710
		11 00 02.4	24''	-16''	4''	-29''
6605601	670312	18 40 01.9	17 37 40	68 48 32	8,661	27,884
		11 15 48.6	-66	-15	76	4
		18 48 12.4	11 06 31	58 08 00	51,064	54,616
			20	-50	79	-28
		18 51 39.1	10 18 59	41 28 20	84,121	57,310
6000901	670312	20 40 10.0	6 10 51	21 16 55	247,926	46,273
		11 15 48.6	163	-98	-270	35

Alle hier angeführten Berechnungen wurden auf dem Philips P 352-Computer der geodätischen Institute der TH Wien durchgeführt.

Liegt nun das Residuum quer zur Bahn in seinen Komponenten $q_a \cdot \cos h$ und q_h vor, so läßt sich jene Verschiebung des Stationsortes $d\varphi$, $d\lambda$ errechnen, die beide

Tabelle 3

S = 6102801		I = 95,86	T = 20 53,4	L = 129,68	
119,64	56,070	2327	22 49,470	44,58	40,18
139,94	65,600	2307	22 59,000	108,58	45,84
128,00	59,994	2318	22 53,394	67,99	47,39
129,00	60,464	2317	22 53,864	71,32	47,88
130,00	60,933	2316	22 54,333	74,73	48,26
S = 6605601		I = 86,55	T = 17 57,1	L = 126,92	
99,48	40,200	2011	19 37,300	2,26	19,21
109,68	44,580	2096	19 41,680	13,76	33,66
105,00	42,570	2056	19 39,670	7,74	26,77
106,00	42,999	2065	19 40,099	8,90	28,21
107,00	43,429	2073	19 40,529	10,12	29,67
130,07	53,500	2307	19 50,600	74,57	57,25
123,00	50,407	2233	19 47,507	45,14	52,87
124,00	50,844	2244	19 47,944	48,80	53,91
125,00	51,281	2254	19 48,381	52,67	54,83
140,10	58,180	2430	19 55,280	113,39	50,96
131,50	54,167	2324	19 51,267	80,99	57,20
132,00	54,400	2330	19 51,500	83,21	57,10
132,50	54,633	2336	19 51,733	85,39	56,97
S = 6000902		I = 47,24	T = 20 03,8	L = 107,63	
106,31	34,800	1036	21 38,600	263,76	37,16
119,30	39,170	1042	21 42,970	201,69	52,48
110,00	36,041	1037	21 39,841	252,50	44,31
111,00	36,377	1038	21 40,177	248,57	46,13
112,00	36,714	1038	21 40,514	244,21	47,84
113,00	37,050	1039	21 40,850	239,39	49,39

Werte zum Verschwinden bringt. Wenn z. B. der beobachtete Höhenwinkel größer als der berechnete ist, muß der „wirkliche“ Stationsort offenbar näher zum Satelliten gerückt werden. Ist die Höhe H des Satelliten S über der Erde bekannt (Abb. 2), so ergibt sich seine schiefe Entfernung D von der Station St mittels $D = \sqrt{(R + H)^2 - (R \cdot \cos h)^2} - R \cdot \sin h$, wenn R den Erdradius bedeutet. Er wurde für Wien mit 6366,56 km eingesetzt.

Die Stationsverschiebungen in Richtung zum Satelliten bzw. senkrecht darauf, verursacht durch q_h und q_a , folgen zu $s_h = \frac{D}{R \cdot \sin h + D} \cdot q_h''$ und $s_a = \frac{D \cdot \cos h}{R + D \cdot \sin h} \cdot q_a''$, wobei das zweite Glied im Nenner jeweils den Einfluß der Lotkonvergenz darstellt. Durch eine einfache Transformation erhält man die Änderungen der geographischen Koordinaten:

$$d\varphi = s_a \cdot \sin a + s_h \cdot \cos a \quad \text{und} \quad d\lambda \cdot \cos \varphi = s_h \cdot \sin a - s_a \cdot \cos a.$$

Tabelle 4

NR	A	H	RA	RH	VA	VH	HM	RT	QA	QH	DB	DL
6000901												
19	194,49	60,05	-354	29	-994	388	1103	-0,24	-52	-67	20,5	-8,0
21	83,85	27,28	-88	-222	-212	-304	1086	-0,64	42	-26	14,6	-14,8
21	92,01	59,98	-422	-267	-246	-626	1070	-0,47	-152	30	-36,7	6,4
27	249,08	36,59	-58	185	-70	393	1123	-0,47	-19	-2	6,4	-1,2
29	100,08	52,69	-98	-479	-78	-550	1114	-0,87	-18	1	-4,7	-0,3
30	279,39	24,14	-206	364	-104	302	1106	-1,27	-66	-21	24,9	15,7
32	223,46	26,15	-93	0	-485	-24	1120	-0,19	-0	4	-1,6	-1,7
46	123,34	44,49	139	30	-875	-208	972	0,15	0	-2	0,6	-0,5
46	242,39	52,32	-199	150	-277	618	968	-0,27	-74	-20	18,3	-3,3
46	271,79	43,05	-80	50	-111	534	948	-0,10	-49	-7	12,9	2,7
48	92,14	37,35	-40	-222	-371	-418	964	-0,39	83	-58	24,8	-20,5
48	89,69	32,91	-47	31	-36	-443	932	0,06	-41	2	-12,5	1,1
50	89,28	41,98	-70	132	-271	-503	960	0,19	-90	36	-24,0	12,2
50	98,33	41,45	-49	164	-51	-542	933	0,29	-48	3	-12,7	-0,7
62	184,74	19,45	-72	-20	-429	251	750	-0,09	-27	-44	24,9	-7,6
68	267,34	33,70	82	81	-50	568	733	-0,13	73	5	-18,4	-1,0
73	105,16	39,62	85	-177	-122	-644	714	-0,25	89	-13	20,0	1,5
75	237,19	35,32	-188	19	-978	257	689	-0,18	-8	-27	6,4	6,1
80	162,82	41,80	-270	-151	-939	-512	677	-0,29	1	-2	0,7	0,1
82	206,88	53,95	-360	200	-2025	33	640	-0,18	5	193	-33,7	-16,1
151	83,15	23,71	74	-154	-108	-363	837	-0,34	102	-27	32,6	-17,7
6102801												
110	35,29	36,82	87	-1	234	162	2337	-0,20	30	-34	-6,8	-24,5
118	71,14	47,97	4	-29	431	56	2318	0,00	5	-28	-2,0	-13,8
137	31,92	56,21	-92	-95	272	269	2253	0,34	1	-0	0,0	-0,8
137	36,27	59,99	-125	-85	350	269	2251	0,32	-5	3	-0,0	2,4
139	290,14	40,06	79	3	-359	-78	2243	0,20	3	-13	-4,1	5,8
139	288,75	39,74	76	7	-355	-83	2242	0,20	2	-9	-3,0	4,4
146	302,68	34,53	53	14	-329	-45	2232	0,16	-1	6	2,5	-2,8
146	274,05	24,58	62	27	-212	-127	2214	0,26	4	-7	-3,2	4,5
147	240,40	56,18	34	-16	-362	-248	2211	-0,00	19	-15	-3,5	9,7
147	238,17	54,55	-3	-102	-332	-253	2210	-0,25	48	-36	-8,5	24,1
6206001/6000902												
142	278,39	37,67	63	48	254	644	680	-0,08	31	-9	-7,3	1,8
142	278,99	39,17	36	26	276	670	680	-0,04	17	-5	-4,0	0,9
123	247,92	46,27	-270	35	-749	312	1038	-0,29	-34	-56	15,2	13,1
148	97,62	54,35	76	99	-270	-740	996	0,14	22	-4	5,4	-0,5
6305301												
3	240,95	28,09	-16	56	-394	-195	1275	0,03	-27	48	-2,4	-27,6
9	258,22	45,57	-437	-120	-723	-107	1265	-0,62	11	-52	0,4	19,4
36	73,85	26,23	108	49	-574	-104	986	0,19	-5	28	1,8	13,9
37	131,64	83,05	3050	-204	-7650	487	873	0,40	-4	-7	0,3	-1,5
37	18,23	25,06	128	-404	-40	-474	739	-0,82	145	-10	9,0	-43,0
57	323,79	66,20	567	-521	-587	483	1354	1,05	-21	-10	1,0	6,5
6400401												
20	130,74	36,63	-781	605	611	-526	699	1,20	-33	-31	0,4	-12,2
22	44,36	22,08	-450	-159	715	117	695	0,65	14	-82	-25,2	-31,0
23	13,35	53,56	-254	-49	850	853	698	0,12	-90	53	7,0	18,3
24	89,21	45,14	-125	154	1345	-241	703	0,12	31	123	6,7	30,6
26	49,14	58,01	-355	-69	1980	441	705	0,17	-3	8	0,6	1,6
26	140,04	35,20	-515	352	454	-540	710	0,80	-121	-83	2,1	-39,3
28	59,49	25,73	234	81	818	22	707	-0,28	-2	74	15,6	27,8
28	306,23	61,97	-421	56	-1870	755	709	-0,16	-56	-65	0,5	15,3
31	312,19	37,98	17	-126	-805	471	715	0,10	-55	-74	-5,7	25,0
54	20,20	45,08	65	2	-280	-730	739	0,01	42	-11	0,3	-9,3
58	185,35	31,85	-95	-135	-58	566	690	0,22	-91	-8	4,9	-22,2
100	9,07	55,39	249	88	688	817	766	-0,15	80	-38	-5,7	-16,5

Tabelle 4

NR	A	H	RA	RH	VA	VH	HM	RT	QA	QH	DB	DL
6400401												
102	338,42	34,08	131	-230	-221	536	767	0,44	26	9	0,4	-7,5
102	190,44	36,94	-25	64	-280	-605	744	0,08	-38	14	-2,7	-9,8
6407601												
10	345,81	19,71	124	-687	-71	592	380	1,16	38	4	-0,3	-8,2
13	336,60	31,93	-156	-32	-430	920	414	-0,01	-125	-49	-3,3	23,7
40	7,28	26,11	131	-134	69	-265	1442	-0,57	81	19	15,7	-36,4
45	226,79	55,94	276	258	471	375	1448	-0,65	-18	12	1,1	-6,9
76	25,48	58,32	729	107	797	447	1151	-0,55	150	-141	-18,8	-51,7
85	203,57	21,16	-20	-65	-126	-218	1439	-0,26	12	-6	1,4	7,7
145	146,05	44,01	11	-102	300	-457	1139	-0,18	-32	-15	-0,9	-11,1
145	146,72	43,05	78	-35	285	-451	1137	-0,11	33	15	0,9	11,4
6605601												
44	85,43	17,69	-42	20	-145	80	2883	-0,27	-1	-2	-1,2	-1,7
44	61,34	25,97	-143	-40	-204	32	2874	-0,64	-10	-60	-27,0	-33,7
47	89,89	20,16	27	-2	-150	86	2890	0,13	6	9	4,8	7,4
49	82,05	28,76	4	1	-193	70	2890	0,01	0	2	0,7	1,3
51	40,25	34,56	71	33	-234	-59	2860	0,32	-4	13	4,8	7,5
52	195,11	51,32	33	-10	89	191	2968	0,01	21	-6	0,2	11,5
52	310,35	78,25	-190	25	1005	-152	2924	0,18	-1	-2	-0,0	1,2
52	355,34	45,81	28	-8	78	-202	2852	-0,06	16	4	1,6	-8,7
53	97,42	45,71	31	20	-256	92	3036	0,05	12	24	5,1	14,5
55	209,34	34,28	-17	12	95	150	3056	-0,02	-15	8	0,3	-11,5
55	278,68	66,34	85	38	577	9	3060	-0,15	-1	36	3,2	-16,9
55	353,48	34,57	102	-142	102	-151	2960	-0,95	3	2	1,0	-2,5
59	135,57	54,36	-50	-76	-187	166	3115	0,23	-55	-36	-6,3	-33,3
59	81,98	69,75	43	-46	-658	12	3094	0,07	-2	-45	-3,9	-20,5
59	15,43	44,77	18	68	-115	-176	3012	0,34	-15	7	1,5	9,3
61	319,48	39,01	-18	4	238	-52	3051	0,07	0	0	0,0	-0,0
61	339,70	32,18	-122	13	187	-90	2992	0,52	-19	-34	-16,7	19,9
61	353,71	23,99	-104	119	148	-106	2922	0,86	21	27	18,0	-18,2
67	283,14	33,95	2	-48	213	46	3075	0,05	11	-45	-14,1	26,7
74	331,47	50,08	78	-12	261	-145	2935	-0,20	15	17	4,4	-11,5
78	345,08	36,79	31	-3	166	-143	2840	-0,09	11	10	4,6	-8,5
84	294,21	28,16	186	0	213	35	2878	-0,84	5	-29	-11,6	16,8
84	30,18	16,49	-43	8	194	-23	2486	0,22	0	2	2,0	0,8
86	233,08	43,69	58	-6	198	140	2936	-0,12	23	-23	-2,2	18,6
88	30,14	16,39	-19	-28	201	-19	2439	0,07	-2	-29	-21,1	-9,6
89	86,50	20,65	57	-80	211	-89	2299	-0,37	-20	-46	-16,5	-32,6
90	252,92	20,39	63	78	149	94	2784	-0,54	-17	26	7,4	-23,0
90	278,29	31,37	103	45	233	60	2702	-0,46	-5	16	4,7	-10,2
96	328,79	15,41	-93	-55	202	18	2460	0,48	4	-46	-33,2	16,2
99	20,11	36,66	39	-55	245	171	2250	0,04	40	-46	-17,1	-28,7
101	315,61	16,38	118	0	214	27	2360	-0,54	1	-14	-9,1	6,9
103	34,92	26,83	-134	-48	278	48	2232	0,50	4	-23	-11,1	-11,2
107	48,53	48,26	131	12	450	107	2225	-0,27	6	-16	-3,2	-7,7
109	5,15	32,49	51	55	118	228	2112	-0,27	15	-6	-3,2	-8,8
109	20,07	52,91	102	13	302	272	2170	-0,13	36	-24	-4,8	-18,0
115	21,99	30,96	-6	-8	258	153	2106	0,03	2	-3	-1,2	-1,7
115	69,14	43,39	-35	-55	414	-3	2289	0,08	-0	-55	-10,2	-26,2
116	341,44	36,43	62	9	-167	237	2120	0,06	41	23	5,5	-23,8
116	310,21	58,12	-59	20	-565	171	2254	-0,10	0	1	0,1	-0,7
121	8,66	27,88	76	4	164	202	2063	-0,17	42	-30	-15,0	-26,6
121	51,06	54,61	79	-28	534	124	2250	-0,09	16	-39	-5,7	-17,9
121	84,12	57,31	134	-45	564	-33	2332	-0,25	-3	-36	-3,3	-15,7
124	254,24	41,55	-28	12	-297	-122	2440	-0,04	-9	18	2,1	-10,7
129	289,95	41,09	-92	33	-362	3	2303	-0,25	0	32	5,6	-16,0
129	257,57	34,71	-53	33	-245	-107	2468	-0,10	-23	43	7,2	-28,1
130	238,97	17,52	21	-5	-110	-110	2691	0,06	12	-12	-4,0	13,7
150	246,04	63,79	20	-11	337	97	3576	-0,00	7	-11	-1,1	7,1
150	346,18	48,90	-57	-21	131	-125	3689	0,02	-35	-24	-8,8	23,5

Tabelle 5

pφ	pλ	dφ	dλ	pφ	pλ	dφ	dλ
Sat.-Nr. = 6000901				Sat.-Nr. = 6400401			
0,60	0,70	20,5	-8,0	1,20	1,45	4,9	-22,2
0,20	0,20	14,6	-14,8	3,90	4,10	-5,7	-16,5
0,50	0,50	-36,7	6,4	1,30	1,40	0,4	-7,5
0,55	0,55	6,4	-1,2	3,80	4,10	-2,7	-9,8
0,75	0,60	-4,7	-0,3				
0,20	0,10	24,9	15,7	Mittel		-0,97	-5,77
1,45	1,45	-1,6	-1,7	M. F.		1,66	4,39
1,20	1,20	0,6	-0,5				
1,20	1,20	18,3	-3,3	Sat.-Nr. = 6407601			
1,00	0,90	12,9	2,7	0,80	1,00	-0,3	-8,2
0,85	0,85	24,8	-20,5	0,80	0,80	-3,3	23,7
1,00	0,90	-12,5	1,2	0,20	0,25	15,7	-36,4
1,00	0,80	-24,0	12,2	0,85	0,85	1,1	-6,9
1,10	1,10	-12,7	-0,7	0,20	0,20	-18,8	-51,7
0,10	0,60	24,9	-7,6	0,20	0,20	1,4	7,7
0,75	0,75	-18,4	-1,0	0,90	1,10	-0,9	-11,1
0,70	0,70	20,0	1,5	0,45	0,55	0,9	11,4
0,70	0,60	6,4	6,1				
0,95	0,95	0,7	0,1	Mittel		-0,61	-3,82
0,80	1,30	-33,7	-16,1	M. F.		2,05	6,72
0,15	0,20	32,6	-17,7				
				Sat.-Nr. = 6605601			
Mittel		-0,54	-2,57	0,55	0,45	-1,2	-1,7
M. F.		3,91	1,74	0,40	0,25	-27,0	-33,7
				0,45	0,30	4,8	7,4
Sat.-Nr. = 6102801				0,55	0,45	0,7	1,3
1,80	2,20	-6,8	-24,5	0,30	0,30	4,8	7,5
4,90	4,50	-2,0	-13,8	0,80	0,80	0,2	11,5
7,20	7,20	0,0	-0,8	1,05	1,05	0,0	1,2
4,80	4,80	0,0	2,4	1,70	1,90	1,6	-8,7
2,60	2,00	-4,1	5,8	0,70	0,50	5,1	14,5
8,00	6,10	-3,1	4,4	0,80	0,80	0,3	-11,5
6,00	5,80	2,5	-2,8	0,85	0,75	3,2	-16,9
6,50	2,50	-3,2	4,5	0,45	0,60	1,0	-2,5
8,50	6,00	-3,5	9,7	0,40	0,30	-6,3	-33,3
2,70	2,00	-8,5	24,1	0,80	0,70	-3,9	-20,5
				0,65	0,65	1,5	9,3
Mittel		-2,18	0,68	0,65	0,70	0,0	0,0
M. F.		0,88	3,28	0,30	0,35	-16,7	19,9
				0,20	0,30	18,0	-18,2
Sat.-Nr. = 6206001/6000902				0,40	0,20	-14,1	26,7
3,70	3,35	15,2	13,1	0,85	0,85	4,4	-11,5
11,40	11,40	5,4	-0,5	0,70	0,85	4,6	-8,5

Fortsetzung nächste Seite

$p\varphi$	$d\lambda$	$p\varphi$	$d\lambda$	$p\varphi$	$d\lambda$	$p\varphi$	$d\lambda$
Sat.-Nr. = 6206001/600902				Sat.-Nr. = 6605601			
14,00	11,00	-7,3	1,8	0,30	0,25	-11,6	16,8
9,30	7,00	-4,0	0,9	0,40	0,55	2,0	0,8
				0,35	0,30	-2,2	18,6
	Mittel	-0,56	1,96	0,25	0,45	-21,1	-9,5
	M. F.	4,23	2,23	0,30	0,20	-16,5	-32,6
				0,20	0,20	7,4	-23,0
Sat.-Nr. = 6305301				0,55	0,45	4,7	-10,2
0,90	0,40	-2,4	-27,6	0,15	0,15	-33,2	16,2
1,40	0,60	0,4	19,4	0,70	0,70	-17,1	-28,7
0,60	0,25	1,9	13,9	0,35	0,35	-9,1	6,9
3,00	3,00	0,3	-1,5	0,30	0,40	-11,1	-11,1
0,50	0,65	9,0	-43,0	3,20	3,20	-3,2	-7,7
1,10	1,10	1,0	6,5	1,60	2,00	-3,2	-8,8
				2,50	2,50	-4,9	-18,0
	Mittel	0,80	-3,53	2,10	2,30	-1,2	-1,7
	M. F.	1,09	7,65	0,60	0,50	-10,3	-26,2
Sat.-Nr. = 6400401				2,00	2,20	5,5	-23,8
0,65	0,65	0,4	-12,2	2,00	2,00	0,1	-0,7
0,60	0,60	-25,2	-31,0	0,60	0,90	-15,0	-26,6
1,30	1,30	7,0	18,3	1,60	1,60	-5,7	-17,9
1,10	0,70	6,7	30,6	1,60	1,50	-3,3	-15,7
1,70	1,70	0,6	1,6	2,00	1,80	2,2	-10,7
0,55	0,55	2,1	-39,3	1,50	1,30	5,6	-16,0
0,35	0,20	15,6	27,8	0,50	0,45	7,2	-28,1
1,90	1,60	0,5	15,3	0,35	0,30	-4,1	13,7
0,95	0,75	-5,7	25,0	1,05	1,05	-1,1	7,1
2,20	2,40	0,2	-9,3	0,55	0,60	-8,8	23,5
					Mittel	-1,82	-8,37
					M. F.	0,95	1,79

Einer Verschiebung $d\varphi = 1''$ entspricht bekanntlich die Strecke von 30,88 m auf der Erdoberfläche.

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse, geordnet nach Satelliten. RA und RH bedeuten die ursprünglichen Residuen in Bogensekunden, VA und VH die Komponenten der Satellitenbewegung in $''/\text{sec}$ und HM die Höhe in statute miles. RT ist jene Zeit, die der Satellit benötigt, um in Abb. 1 von B nach B' zu gelangen, auch Zeit-Residuum genannt. QA und QH bezeichnen die Residuen quer zur Bahn und die beiden letzten Spalten stellen schließlich die Verschiebungen in Breite und Länge dar.

4. Bestimmung des Mittels

Da die verwendeten Satelliten verschiedene Bahnen und stark unterschiedliches spezifisches Gewicht aufweisen, wurden nicht alle Werte in einen Topf geworfen, sondern die Ergebnisse jedes einzelnen Objektes gemittelt. Lediglich Anna 1B

und Echo 1 Rakete sind zusammengelegt, weil von ihnen nur je 2 Beobachtungen vorliegen und sie ähnliche, stabile Bahnen haben. Die Einzelverschiebungen wurden mit Gewichten versehen, denn ihre Genauigkeit hängt ab von der schiefen Distanz und dem Höhenwinkel, von der Stabilität der Bahnen, von der Größe des Zeit-Residuums und der Verlässlichkeit der Beobachtungen selbst. Außerdem erhalten $d\varphi$ und $d\lambda$, abhängig vom Azimut, im allgemeinen verschiedene Gewichte, weil s_h bei kleinen Höhenwinkeln mit größerer Unsicherheit behaftet ist als s_a , wie aus dem Produkt $R \cdot \sin h$ in der Formel für s_h hervorgeht.

Die Berechnung der Satelliten-Mittel ist aus Tabelle 5 zu ersehen. Die Kolonnen 3—4 beinhalten die einzelnen Breiten- und Längenschiebungen, Kolonne 1 und 2 ihre Gewichte. Die Mittel und deren mittlere Fehler stehen am Abschluß jeder Gruppe.

Zuletzt wurde das Gesamtmittel aus den Satellitenmitteln bestimmt; die Gewichte dieser Werte ergaben sich aus deren mittleren Fehlern, der Summe der Einzelgewichte und einem Faktor, der von der Anzahl der Beobachtungen abhängt. Nach STUDENT stellt nämlich der mittlere Fehler bei nur wenigen Messungen ein zu optimistisches Maß für die Genauigkeit dar. Das Gesamtmittel resultierte zu $d\varphi = -1''85 \pm 0''19$ und $d\lambda \cdot \cos \varphi = -5''51 \pm 1''54$.

5. Einfluß der Geoidhöhe und Gesamtergebnis

Da eine Änderung der Meereshöhe unserer Station auch eine Verschiebung der Höhenresiduen r_h im gleichen Sinne nach sich zieht, kann erwartet werden, daß auch eine Geoidhöhe ζ die obigen Ergebnisse systematisch beeinflusst. Um dies zu untersuchen, wurden alle Verschiebungen noch zwei weitere Male berechnet, wobei versuchsweise $\zeta = 30$ m und $\zeta = 60$ m gesetzt wurde. Die Wirkung einer Geoidhöhe beschränkt sich fast allein auf eine Änderung des Residuums q_h und ist proportional dem Cosinus des Höhenwinkels. Die Ergebnisse der angegebenen drei Geoidabstände zeigen für die verschiedenen Satelliten folgendes Bild:

Tabelle 6

Sat.-Nr.	Anz.d. Beob.	Gewichte		$\zeta = 0$		$\zeta = 30$		$\zeta = 60$	
		$p\varphi$	$p\lambda$	$d\varphi$	$d\lambda$	$d\varphi$	$d\lambda$	$d\varphi$	$d\lambda$
6000901	21	0,15	0,45	-0''54	-2''57	-0''82	-2''59	-1''08	-2''64
6102801	10	4,70	0,50	-2.18	+0.68	-2.03	+0.60	-1.88	+0.53
62./60.	4	0,20	0,20	-0.56	+1.96	-0.50	+1.93	-0.45	+1.85
6305301	6	0,10	0,05	+0.80	-3.53	+0.79	-3.57	+0.81	-3.62
6400401	14	0,65	0,30	-0.97	-5.77	-0.92	-5.68	-0.86	-5.59
6407601	8	0,05	0,05	-0.61	-3.82	-0.59	-3.86	-0.55	-3.90
6605601	48	5,00	2,10	-1.82	-8.37	-1.67	-8.34	-1.54	-8.32
Gesamt- Mittel	111	10,85	3,65	-1''85	-5''51	-1''72	-5''50	-1''59	-5''50
				± 0.19	± 1.54	± 0.17	± 1.52	± 0.16	± 1.51

Die Ergebnisse ändern sich tatsächlich geringfügig, außerdem nehmen die mittleren Fehler mit zunehmender Geoidhöhe etwas ab und erreichen ihr Minimum ungefähr bei $\zeta = 70$ m; doch ist der Trend viel zu schwach, um daraus einen sicheren

Wert für ζ ableiten zu können. Wählt man einen Geoidabstand von 35 m, wie er etwa aus den Undulationen nach TANNI hervorgeht, so ergibt sich die Verschiebung der Station Wien-Hietzing, also die negative absolute Lotabweichung, mit

$$d\varphi = -1''70 \pm 0''17 \text{ und } d\lambda \cdot \cos \varphi = -5''50 \pm 1''52.$$

Um das Ergebnis überprüfen zu können, wurden die konformen Koordinaten x, y der Beobachtungsstation durch kombiniertes Einschneiden bestimmt und ins System φ, λ transformiert. Als Differenz zwischen astronomischen und geodätischen Koordinaten resultierte die Lotabweichung mit $(\varphi' - \varphi) = +0''2$ und $(\lambda' - \lambda) \cdot \cos \varphi = -0''9$. Mit Rücksicht auf die in [5] aus dem Europanetz abgeleitete absolute Lage des Fundamentalpunktes Hermannskogel ergab sich die absolute Lotabweichung der Station zu $\xi = +2''2$ und $\eta = +6''9$.

Sicher wird ein kontinentales Netz [5] gegenüber einem weltumspannenden noch kleine Unterschiede aufweisen, doch dürfte der größere Teil der Differenzen von $0''5$ bzw. $1''4$ auf Konto der Beobachtungen gehen. Wahrscheinlich läßt sich aber die Genauigkeit des Verfahrens noch steigern, wenn die Zahl der Beobachtungen und der benützten Satelliten vergrößert wird.

Aus dem Vorliegenden läßt sich jedenfalls schließen, daß auch visuelle Satellitenbeobachtungen, obwohl sie naturgemäß weniger genau als etwa photographische Messungen sind, zur Berechnung absoluter Stationskoordinaten herangezogen werden können, wenn sie nur in genügend großer Anzahl und nach Objekten breit gestreut zur Verfügung stehen.

Literatur

- [1] *Arnold, K.*: Methoden der Satellitengeodäsie, Berlin 1970.
- [2] *Gaposchkin, E. M.*: Differential Orbit Improvement DOI-3, Smithsonian Astrophysical Observatory, Spec. Rep. 161, 1964.
- [3] *Sigl, R. und Groten, E.*: Dynamische Satellitengeodäsie, DGK Reihe A, Heft 49, München 1966.
- [4] *Smithsonian Institution*: Star Catalog of 258997 Stars Equinox 1950,0, Washington 1966.
- [5] *Ledersteger, K.*: Die Bestimmung des mittleren Erdellipsoides und der absoluten Lage der Landestriangulationen, Sonderheft 12 der ÖZfV, Wien 1951.

Zur Anwendung des hyperoskulierenden Kegelschnitts der Klotoide

Von *Gerhard Palfinger*, Wien

Die Näherungsmethoden zur Berechnung von Klotoidenwerten verlieren durch den Einsatz von mittleren und großen Datenverarbeitungsanlagen für die Achsrechnung im Straßenbau an Bedeutung (siehe [1] Seite 102–113). Hingegen sind Näherungsformeln vor allem beim Einsatz elektronischer Tischrechner mit Vorteil anzuwenden. Gebräuchlich sind Polynome zweiter und dritter Ordnung (z. B. Schmieckreis, Kegelschnitt [2], [3] und kubische Parabel [4], [5] sowie rasch konvergierende Reihen [6]).