

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКІЙ СБОРНИКЪ | REPERTORIUM FÜR METEOROLOGIE
ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ. | HERAUSGEG. V. D. KAISERLICHEN AKADEMIE D. WISSENSCHAFTEN.
Bd. VIII, № 4.

ÜBER
FLUTH UND EBBE

IN
ST. PETERSBURG

VON
J. Amelung.

—
(Mit einer Curven-Tafel.)
—

(Der Akademie vorgelegt am 19. Januar 1882.)

N. 703

—
САНКТПЕТЕРБУРГЪ, 1882.

ПРОДАЕТСЯ У КОМИССИОНЕРОВЪ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ:

И. Глазунова и Эггерса
и Коми. въ С. П. Б.

Н. Киммеля, въ Ригѣ.

Voss' Sortiment, въ Лейпцигѣ.

—
Цѣна 25 коп. = 80 Pf.

Напечатано по распоряженію Императорской Академіи Наукъ.
Февраль 1882 года. Непремѣнный Секретарь, Академикъ *К. Веселовскій*.

Типографія Императорской Академіи Наукъ.
(Вас. Остр., 9 линія, № 12.)

und in der Newa ganz ruhig bleibt, schwimmt ein Kupfergefäß, und eine Schnur aus dünnem Kupferdraht, die am oberen Rand der Tonne über eine Rolle geht, dann durch ein Loch in der Hauswand zum Apparat geleitet und dort auf einem Holzcyliner¹⁾ aufgewickelt ist, vermittelt die Uebertragung der Bewegung des Schwimmers auf den Schlitten, an welchem die erwähnte Zeigerstahlspitze sitzt. Die Uebersetzungen sind so bemessen, dass eine Hebung oder Senkung des Schwimmers um 1 Meter angenähert einer Verschiebung des Zeigers vor dem Papier um ein Decimeter entspricht. Zum Schutz gegen die Kälte im Winter ist die Tonne mit einem Deckel versehen und ausserdem von einer an das Haus angebauten Holzhütte umgeben, die mit Stroh ausgefüllt wird».

Den Wasserstand H der Newa über einer festen Nulllage, die zur Vermeidung negativer Werthe unter dem tiefsten Stande der Newa gewählt ist, in Centimetern berechnete man aus den Aufzeichnungen des Limnigraphen nach der Formel:

$$H = a + b x$$

wobei x die Ordinaten auf dem Papierstreifen von einer Nulllinie an, die eine feste Stahlspitze einsticht, mit Hülfe einer Glasscala in Millimetern gemessen bedeutet. Die Constante b ist ein für alle Male, die Constante a allmonatlich bestimmt worden. Für a erhielt man im Jahre 1878 folgende Extreme:

$$\begin{aligned} \text{im März} &= -1^{\text{cm}}6, \\ \text{» Mai} &= -2^{\text{cm}}6, \end{aligned}$$

die beide von ihrem Mittelwerth um je $0^{\text{cm}}5$ abweichen. Soviel beträgt auch zufolge anderer Versuche die Unsicherheit einer Registrirung in Folge der Reibungshindernisse im Apparate, verschiedener Adhäsion des Wassers am Schwimmer, etc.

§ 2. Die mittlere Sonnenfluth.

Nach dieser Formel berechnete Werthe der Wasserstandshöhen H in Centimetern für alle ganze Stunden mittlerer Sonnenzeit der Jahre 1878 und 1879, sind in den Annalen dieser beiden Jahre zusammen mit näheren Angaben über die Controle des Apparats mitgetheilt. Beide Jahrgänge ergeben im Jahresmittel einen täglichen Gang des Wasserstandes, in dem eine Sonnenfluth von etwa 1 Centimeter Amplitude unverkennbar ist. Im Uebrigen aber weichen die beiden Jahrgänge, wie die nachstehende Zusammenstellung zeigt, in ihren Ergebnissen noch so stark von einander ab, dass zur Aufklärung dessen eine besondere Untersuchung nothwendig sein wird²⁾.

1) Jetzt Messingcyliner mit Schraubengängen.

2) Der Limnigraph scheint zu Beginn des Jahres 1879 eine bedeutendere Trägheit in seinen Angaben besessen

zu haben, was vielleicht auf ein theilweises Zufrieren des Verbindungsrohres der Tonne mit der Newa zurückzuführen sein dürfte.

Sonnenfluth der Newa in St. Petersburg.			
	1878.	1879.	Differenz.
Fluthgrösse	^{cm} 2,4	^{cm} 1,6	^{cm} + 0,8
Eintrittszeit des Hochwassers	3 ^h 40 ^m	4 ^h 50 ^m	— 70 ^m
Eintrittszeit des Niedrigwassers	9 45	11 0	— 75
Fluthdauer	5 55	5 50	+ 5

§ 3. Die mittlere Mondfluth.

Dieses unmittelbare in der bisherigen Bearbeitung der Limnigraphenaufzeichnungen hervortretende Resultat veranlasste mich, auch die *Mondfluth* aus diesen Beobachtungen abzuleiten, wobei ich zunächst bloss diejenigen des Jahres 1878 benutzte. Die Wasserstände des Jahres 1878 wurden zu dem Ende nach Mondzeit geordnet, indem man für die vollen Mondstunden den Werth zwischen den benachbarten mittleren Sonnenstunden durch geradlinigte Interpolation bestimmte, mit alleiniger Benutzung des gedruckt vorliegenden Materials ohne bisher auf die Originalblätter zurückzugehen. Das Jahr 1878 umfasst 351 volle Mondtage von einer untern Culmination durch eine obere zur nächsten untern Culmination. Für 5 von ihnen sind die Aufzeichnungen lückenhaft: für einen Tag im März, einen im Juni und 3 aufeinanderfolgende Tage im Juli. Als Mittel aus den übrigbleibenden 346 Tagen ergibt sich als Abweichung vom Mittel in Centimetern:

Die Mondfluth für 1878:

0^h 1^h 2^h 3^h 4^h 5^h 6^h 7^h 8^h 9^h 10^h 11^h 12^h

Untere bis obere Culmination:

—0,55 +0,12 +0,72 +1,19 +1,36 +1,06 +0,47 —0,40 —1,15 —1,60 —1,58 —1,02 —0,08

Obere bis untere Culmination:

—0,08 +0,87 +1,46 +1,65 +1,44 +0,97 +0,32 —0,30 —0,88 —1,46 —1,56 —1,13 —0,37

Mittel aus beiden:

—0,32 +0,50 +1,09 +1,42 +1,40 +1,02 +0,40 —0,35 —1,02 —1,53 —1,57 —1,08 —0,22

Um 6^h gedreht:

—0,27 +0,54 +1,12 +1,44 +1,42 +1,03 +0,40 —0,36 —1,04 —1,56 —1,60 —1,12 —0,27

Berechnet:

—0,35 +0,44 +1,12 +1,50 +1,47 +1,05 +0,35 —0,44 —1,12 —1,50 —1,47 —1,05 —0,35

1*

Die Werthe für 0^h und 12^h , die zunächst um $0^m 10$ von einander abweichen, wurden durch Drehung der ganzen Curve um den Werth für 6^h zur Deckung gebracht. Figur 1 enthält die ersten 25 Werthe, Fig. 2 die vorletzten Zahlen zweimal eingezeichnet. Das ist die Mond-Halbtags-Fluth mit einer Grösse von $3^m 10$ mit dem Hochwasser um $3^h 25^m$ und dem Niedrigwasser um $9^h 35^m$ Mondzeit. Die letzten Ziffern sind mit der in § 5 besprochenen Formel:

$$y_m = 1,535 \cos 2 (\varphi - 3^h 26^m)$$

berechnet.

§ 4. Die Hafenzeit.

Die $3^h 25^m$ Mondzeit sind aber gleich $3^h 32^m$ mittlere Sonnenzeit, wenn man die Mondstunde zu 62,1 Minuten mittlerer Sonnenzeit rechnet. Für die Sonnenfluth aber hatte sich als Eintrittszeit des Hochwassers $3^h 40^m$ mittlerer Sonnenzeit ergeben. Beide Zeitabschnitte stimmen innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler mit einander überein und zeigen, dass die Mond- und Sonnenfluthwelle um die gleiche Zeit von etwa $3\frac{1}{2}$ Stunden verzögert in Petersburg eintreffen.

§ 5. Die Springfluth und Nippfluth.

Man darf daher die Springfluthen, in denen beide Fluthwellen ohne Phasendifferenz zu ihrer Summe interferiren, an den Tagen der Syzygien, die Nippfluthen, die Differenz beider Fluthwellen bei einer Phasendifferenz von 6 Stunden, an den Tagen der Quadraturen erwarten.

Da aber die Curven der einzelnen Tage durch die mannigfachen meteorologischen Störungen vollständig entstellt sind, konnte erst von einer grössern Zahl von Tagen ein brauchbarer Mittelwerth erwartet werden. Es konnten daher nicht einfach die Tage der Syzygien genommen werden, sondern statt dessen je 5 Tage um jede der 25 Syzygien. Indem aber im Juli der zweite Tag vor dem Vollmonde wegfiel, erhielt man eine Summe von 124 Tagen. Dann wurden Vormittag und Nachmittag zu einem Mittel aus 248 Tiden vereinigt; das Ergebniss war:

Die mittlere Springfluth:

0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	12^h
-0,55	+0,67	+1,67	+2,20	+2,13	+1,74	+0,89	-0,26	-1,41	-2,37	-2,65	-1,97	-0,55

also eine mittlere Springfluth im Betrage von $4^m 91$. Ebenso wurden je 5 Tage um die 24 Quadraturen — wobei nur der zweite Tag nach dem ersten Viertel im Juli in Wegfall kam — zusammen genommen und so als Mittel aus 238 Tiden die Nippfluth von $1^m 38$ Grösse gewonnen:

Die mittlere Nippfluth:

0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	12^h
-0,35	+0,01	+0,53	+0,79	+0,69	+0,41	+0,11	-0,15	-0,41	-0,56	-0,58	-0,51	-0,35

Hauptsächlich um die, bei graphischem Verfahren den Zahlen immer anhaftende Willkür auszuschliessen, wurden für die Sonnenfluth, Mondfluth, Spring- und Nippfluth zu der Formel:

$$y = b \cos 2 (\varphi - \alpha),$$

wobei φ den Stundenwinkel, im ersten Falle der Sonne, in den drei letzten Fällen des Mondes bedeutet, Constanten nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Die Ergebnisse der Berechnung mit den mittlern Fehlern der doppelten Amplituden, sind in beifolgender Tabelle mit den unmittelbaren graphisch gewonnenen Resultaten zusammengestellt:

Halbtagsfluthen. — St. Petersburg 1878.							
	Fluthgrösse.		Hafenzeit durch Rechnung α .		Graphisch gewonnen.		
	Durch Rechnung. $2b$	Graphisch.	Stundenwinkel.	Mittlere Sonnenzeit.	Eintrittszeit des:		Fluthdauer.
					Hochwassers.	Niedrigwassers.	
Sonnenfluth . . .	$2,48 \pm 0,07$	$2,44$	$3^h 32^m$	$3^h 32^m$	$3^h 40^m$	$9^h 45^m$	$5^h 55^m$
Mondfluth	$3,07 \pm 0,08$	$3,14$	$3 26$	$3 32$	$3 25$	$9 35$	$5 50$
Springfluth . . .	$4,80 \pm 0,66$	$4,91$	$3 35$	$3 42$	$3 20$	$9 55$	$5 25$
Nippfluth	$1,32 \pm 0,38$	$1,38$	$3 37$	$3 44$	$3 5$	$9 40$	$5 25$

Aus der Grösse der Springfluth: $4,80$
und der Grösse der Nippfluth: $1,32$

muss sich die Grösse der Mondfluth als halbe Summe derselben ergeben.

Man findet:

$$\frac{4,80 + 1,32}{2} = 3,06,$$

statt der beobachteten:

$$2b_m = 3,07.$$

Die halbe Differenz:

$$\frac{4,80 - 1,32}{2} = 1,73,$$

weicht aber von der Sonnenfluthgrösse:

$$2b_s = 2,48$$

recht stark ab. Diese Abweichung ist zum Theil dem Umstande zuzuschreiben, dass nicht einfach die Tage der Syzygien und Quadraturen genommen sind, sondern Gruppen von je 5 Tagen (was aber nothwendig war um die meteorologischen Störungen nur einigermaassen auszugleichen). Dadurch beträgt die Phasendifferenz der Mond- und Sonnenwelle nur an je einem Tage 0^h und 6^h resp., an den andern Tagen aber um 100^m und 50^m weniger und mehr, weil der Mond täglich um 50^m gegen die Sonne nach Osten zurückbleibt. Im Maximum der Springfluth hat man daher:

$$\frac{1}{5} \{ 5 b_m + b_s (\cos 0 + 2 \cos 25^\circ + 2 \cos 50^\circ) \} = b_m + 0,868 b_s$$

wenn b_m die Amplitude der Mondfluth und b_s die Amplitude der Sonnenfluth bedeutet. Als Amplitude der Nippfluth hat man ähnlich:

$$b_m - 0,868 b_s.$$

Die halbe Differenz der beiden Grössen ergibt also:

$$0,868 b_s$$

und muss erst durch 0,868 dividirt werden, um die richtige Amplitude der Sonnenfluth zu geben. Man fände so:

$$1,74 : 0,868 = 2^m 00$$

als doppelte Amplitude der Sonnenfluth statt:

$$2^m 44$$

Daraus ergibt sich das Verhältniss der Mondfluth zur Sonnenfluth:

$$3,06 : 2,00 = 1,53$$

während die direct gewonnenen Grössen

$$3,07 : 2,48 = 1,26$$

ergeben.

Beide Zahlen sind kleiner als das Verhältniss der flutherzeugenden Kräfte von Mond und Sonne:

$$2,25.$$

§ 6. Einfluss der Declination des Mondes.

Indem ich immer erst volle Mondtage berechnete und ihre Curven zeichnete, fiel es mir auf, dass in den Aequinoctial-Springfluthen, bei denen Mond und Sonne beide im Aequator sich befinden, die Curven beider Tageshälften leidlich, so weit es die mannichfachen Störungen erwarten liessen, mit einander übereinstimmten, in den Solstitial-Springfluthen aber, bei denen Mond und Sonne ihre stärkste Abweichung vom Aequator erreichen, die Tageshälften sehr verschieden ausfielen, und zwar bei näherer Prüfung immer im Sinne der Newton'schen Theorie, die das Meer ein Späroid bilden lässt, das seine Hauptsache auf das fluthbildende Gestirn zu gerichtet hat. Das Hauptmaximum folgte bei nördlicher Declination des Mondes seiner oberen Culmination, bei südlicher Declination des Mondes seiner unteren Culmination. Die Erscheinung musste am deutlichsten hervortreten, wenn man die Tage, an denen die Declination des Mondes ihr Maximum erreicht, vereinigte. Allerdings konnte auch wieder der mannichfachen Störungen wegen nicht nur je ein Tag genommen werden.

Es wurden daher je 5 Tage um die 13 Maxima positiver Declination zusammenge-
nommen; das ergiebt als Mittel aus 65 Tagen:

Die Mondfluth maximaler positiver Declination:

Untere bis obere Culmination:

0 ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h	4 ^h	5 ^h	6 ^h	7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h
-4,9	-4,5	-3,6	-2,9	-2,8	-2,9	-2,8	-2,2	-1,0	+0,6	+2,0	+3,0	+4,1

Obere bis untere Culmination:

+4,1	+5,3	+6,0	+5,9	+5,4	+4,6	+3,5	+1,8	+0,1	-0,3	-5,0	-5,6	-5,6
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Je 5 Tage um 12 Maxima negativer Declination zusammengekommen, ergeben als
Mittel aus 60 Tagen, von denen 2 dem Jahre 1877 angehören, um das Maximum zu Beginn
des Jahres 1878 verwenden zu können, da das Maximum im Juli durch die Lücke desselben
schon unbrauchbar geworden:

Die Mondfluth maximaler negativer Declination:

Obere bis untere Culmination:

0 ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h	4 ^h	5 ^h	6 ^h	7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h
-6,0	-5,6	-5,6	-6,0	-6,4	-5,9	-5,2	-3,5	-1,7	-0,1	+1,9	+2,8	+5,6

Untere bis obere Culmination:

+5,6	+7,0	+8,1	+8,5	+8,4	+7,2	+5,3	+3,0	-0,5	-2,9	-4,5	-5,5	-6,0
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Hier sind die Tage von je einer obern durch eine untere zur nächsten obern Culmi-
nation des Mondes gerechnet.

Schliesslich werden beide vorhergehenden Curven zu einem Mittel vereinigt, indem die
untere Culmination bei negativer Declination mit der obern Culmination bei positiver De-
clination zusammengekommen wird. Das ergiebt als Mittel aus 125 Tagen:

Die Mondfluth maximaler Declination (etwa 26°):

0 ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h	4 ^h	5 ^h	6 ^h	7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h
-5,56	-5,19	-4,72	-4,48	-4,61	-4,42	-3,99	-2,87	-1,37	+0,23	+1,95	+3,38	+4,88
+4,88	+6,17	+7,03	+7,20	+6,87	+5,94	+4,45	+2,50	-0,55	-2,87	-4,58	-5,39	-5,56

Diese Curve für das Maximum der Declination des Mondes (26°) ist in Fig. 3 darge-
stellt worden. Diese höchst charakteristische Curve mit deutlich ausgesprochener tägli-
cher Ungleichheit der Grössen der Hochwasser und Zeiten der Niedrigwasser entspricht in
ihren Hauptzügen den Forderungen der Newton'schen Theorie für eine so nordische Breite
wie Petersburg.

Als Mittel aus beiden Tageshälften erhielt man:

Die Mond-Halbtags-Fluth maximaler Declination:

0 ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h	4 ^h	5 ^h	6 ^h	7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h
-0,34	+0,49	+1,16	+1,35	+1,14	+0,77	+0,23	-0,19	-0,96	-1,31	-1,32	-1,01	-0,34

in einer Grösse von $2^{cm}68$ und dem Hochwasser um 3^h . Bringt man diese Halbtagsfluth bei der gesammten Fluth in Abzug, so bleibt übrig:

Die Mond-Tages-Fluth maximaler Declination

0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	12^h
-5,22	-5,68	-5,88	-5,83	-5,75	-5,19	-4,22	-2,68	-0,41	+1,54	+3,27	+4,38	+5,22
+5,22	+5,68	+5,87	+5,85	+5,73	+5,17	+4,22	+2,69	+0,41	-1,56	-1,26	-4,38	-5,22

Diese hat ihr Maximum und ihr Minimum um je $2^h 30^m$ und eine Fluthgrösse von $11^{cm}75$.

Die beiden erst mitgetheilten Zahlenreihen für maximale positive und maximale negative Declination des Mondes ergeben jede für sich ebenso behandelt ähnliche Resultate.

Declination des Mondes		Grösse der Halbtagsfluth.	Grösse der Tagesfluth.
		cm	cm
{	$+ 26^\circ$	2,79	10,0
	$- 26$	2,80	14,4
	∓ 26	2,68	11,75

Die Grössen der Tagesfluthen weichen allerdings noch stark von einander ab, es ist aber auch die eine erst das Mittel aus 65, die andere aus 60 Tagen, während die Halbtagsfluthen Mittel aus den doppelten Anzahlen von Tiden sind, wobei noch im letztern Falle die meteorologischen Gegensätze der einzelnen Tageshälften sich besser ausgleichen können. Von der verschiedenen Mondentfernung, die wohl annähernd so starke Unterschiede hervorzubringen vermöchte, kann der Unterschied nicht abhängen, denn die Mondentfernung ist in beiden Fällen die mittlere.

Im Gegensatz zu den eben besprochenen Curven, die der stärksten Declination angehören, mussten an den Tagen, wo der Mond den Aequator passirt, die Fluthcurven beider Tageshälften einander gleich sein und gar keine Tagesfluth und tägliche Ungleichheit vorhanden sein. Da aber wieder die Curven der einzelnen Tage nichts Rechtes ergeben konnten, so wurden wieder je 5 Tage um jeden Wechsel der Declination des Mondes zusammengekommen. Eine Gruppe bei dem Uebergang von negativer zu positiver Declination: je 2 Tage mit negativer Declination, dann einer mit beiderlei Declination und dann 2 mit positiver Declination. Das Mittel aus 65 Tagen ergab eine Curve mit zwar schwacher aber doch immerhin deutlicher täglicher Ungleichheit. Das grössere Maximum folgt der untern Culmination, wie es bei negativer Declination zu erwarten wäre; wählte man aber dieselben Gruppen von je 5 Tagen nur um je einen Tag zur Seite der positiven Declination hin verschoben, so erhielt man eine Curve, in der das grössere Maximum nun der obern Culmination folgte, also wie es bei positiver Declination zu erwarten stände. Daraus dürfte vielleicht gefolgert werden, dass der Umsprung der täglichen Ungleichheit auf den Tag des Declinationswechsels fällt und mithin das Alter der Petersburger Tiden:

$$0^d 3^h 30^m$$

wäre; die Petersburger Tiden wären auf der Ostsee entstanden, nicht aus dem Atlantischen Ocean eingewandert. Jedoch bedarf diese Folgerung noch einer weiteren Bestätigung.

Eine andere Gruppe von je fünf Tagen um die Wechsel der Declination von positiven zu negativen Werthen: je zwei Tage mit positiver, ein Tag mit beiderlei und zwei Tage mit negativer Declination des Mondes ergaben eine ähnliche Curve, deren Hauptmaximum der oberen Culmination folgt. Doch fallen die aus beiden gewonnenen Halbtags-Fluthgrössen verschieden aus:

		Halbtags-Fluthgrösse.
Declination des Mondes	$\left\{ \begin{array}{l} - - 0 + + \\ + + 0 - - \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} \text{cm} \\ 4,66 \\ 3,50 \end{array}$

und doch hat im ersten Fall die Mondparallaxe ihr Minimum, im zweiten Fall ihr Maximum, so dass diese Werthe einer eingehendern Discussion bedürfen.

Als Mittel aus beiden ergibt sich die Mond-Halbtagsfluth minimaler Declination (6° etwa) mit der Fluthgrösse:

$$4^{\text{cm}};10.$$

Das ist eine stärkere Fluth, als bei der maximalen Declination von 26° und der mittlern von 15° . Es nimmt mithin bei wachsender Declination die Grösse der Halbtags-Fluth ab, wie der Theorie entspricht¹⁾.

§ 7. Einfluss der Declination der Sonne.

Um mir ein ungefähres Urtheil darüber zu bilden, in wie weit die Sonnenfluth ähnliche Gesetze befolgt, wie die Mondfluth, wurden in einer für eine strenge Behandlung allerdings ganz unerlaubten Weise aus den Monatsmitteln nach mittlerer Sonnenzeit neue Combinationen gebildet. Die 6 Monate um die Aequinoctien herum — Februar bis April und August bis October — ergaben:

Die Sonnen-Halbtagsfluth minimaler Declination (Mittlere Sonnenzeit):

0 ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h	4 ^h	5 ^h	6 ^h	7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h
0,00	+0,64	+1,15	+1,35	+1,23	+0,77	+0,06	-0,68	-1,15	-1,41	-1,25	-0,75	0,00

mit einer Fluthgrösse von $2^{\text{cm}};75$.

Die übrigen 6 Monate um die Solstitien herum ergaben:

1)-Cf. G. B. Airy. Tides and Waves. § 481.

Die Sonnen-Halbtagsfluth maximaler Declination (21° etwa)

0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	12^h
-0,70	-0,20	+0,58	+0,92	+1,08	+0,90	+0,56	+0,24	-0,30	-0,82	-1,10	-1,12	-0,70

in einer Stärke von $2^{cm}25$; erstere wie erwartet grösser, letztere kleiner als die mittlere Sonnen-Halbtagsfluth im Betrage von $2^{cm}44$.

Im Sommer-Solstitium war um Mittag, im Winter-Solstitium um Mitternacht das Hauptmaximum zu erwarten. Die 6 Monate, dem entsprechend vereint, ergaben:

Die Sonnenfluth maximaler Declination (mittlere Sonnenzeit):

0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	12^h
-2,29	-1,40	-0,55	-0,32	-0,25	-0,15	-0,14	-0,97	-0,92	-0,60	+0,22	+0,20	+2,18
+2,18	+3,02	+3,48	+3,66	+3,03	+1,86	+0,51	-0,71	-1,89	-2,89	-3,35	-3,09	-1,82

ein Analogon zur Curve maximaler Mond-Declination mit einer Tages-Fluthgrösse von $4^{cm}7$.

Doch ist diesen Zahlen für die Sonnenfluth sehr wenig Werth beizulegen, denn die Mondfluth ist nur aus der mittlern Sonnen-Halbtagsfluth annähernd eliminirt, die drei übrigen mitgetheilten Sonnenfluthgrössen sind mit Resten der Mondfluth behaftet, und zwar so, dass die Halbtagsfluth minimaler Declination verstärkt, die maximaler Declination geschwächt und auch die Sonnentagesfluth wieder verstärkt worden ist. Ausserdem steckt in der Sonnentagesfluth der tägliche Gang des Wasserstandes aus meteorologischen Ursachen. Auf welchem Wege und wie weit es überhaupt möglich sein wird, die Sonnenfluth in ihre zwei Bestandtheile, den einen durch die Attraction der Sonne verursachten, den andern aus meteorologischen Ursachen entstandenen zu zerlegen, vermag ich nicht zu sagen.

§ 8. Combinationen von Mond- und Sonnenfluth.

In Uebereinstimmung mit diesen Ergebnissen über die gesonderte Mond- und Sonnenfluth sind die Combinationen derselben zu den Aequinoctial und Solstitial-Springfluthen und Nippfluthen. In den Aequinoctial-Springfluthen addiren sich die beiden Halbtagsfluthen minimaler Declination, während so gut wie gar keine Tagesfluthen vorhanden sind. Es ist zu erwarten eine einfache Halbtagsfluth von:

$$4,10 + 2,75 = 6,85^{cm},$$

man findet:

$$6,20;$$

erklärlicherweise weniger, weil die Syzygien nicht ganz mit den Wechselln der Declination zusammenfallen. In der Aequinoctial-Nippfluth ist die Mondhalbtagsfluth bei stärkster Declination am schwächsten: $2^\circ 68$, die Sonnenhalbtagsfluth bei Null-Declination am stärksten: $2^{cm}75$; bei einer Phasendifferenz von 6 Stunden müssen sich die beiden Halbtagswellen

fast völlig zerstören. Da auch die Sonnentagesfluth so gut wie Null ist, so muss die reine Mondtagesfluth in ihrem maximalen Betrage von $11^{cm}75$ übrig bleiben. Ihr Maximum fällt aber beim ersten Viertel im Frühjahr und beim letzten Viertel im Herbst auf die obere Culmination, beim letzten Viertel im Frühjahr und dem ersten Viertel im Herbst auf die untere Culmination. Wenn man alle die Tage einfach combinirt, obere auf obere Culmination, so muss das Resultat fast Null sein, da Alles miteinander zu Null interferirt; wie sich auch ergiebt. Wird aber passend die obere Culmination der beiden ersten Fälle mit der untern Culmination der beiden letzten Fälle combinirt, so ergiebt sich die charakteristische Curve № 6:

Die Aequinoctial-Nippfluth:

0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	12^h
-6,2	-5,2	-4,8	-3,8	-3,6	-3,0	-1,8	-0,5	+1,3	+2,7	+3,7	+4,2	+4,4
+4,4	+4,9	+5,5	+5,6	+5,1	+3,7	+2,1	+0,6	-1,7	-3,7	-4,9	-5,8	-6,2

mit einer Fluthgrösse von $11^{cm}70$, statt der erwarteten: $11^{cm}75$.

Die Curven der einzelnen Viertel im Herbst und Frühjahr zeigen aber noch so grosse Abweichungen von einander, dass hier am ehesten eine Kritik einsetzen müsste und zusehen, in wie weit etwa Land- und Seewinde mit dabei ins Spiel kommen. Dass letztere aber die alleinige oder auch nur vorherrschende Ursache der Erscheinung seien, und die charakteristische Form der Aequinoctial-Nippfluth nur auf einer Täuschung beruhe, ist unmöglich, weil ja sonst dieselben Ursachen auch in den Aequinoctial-Syzygien wirken müssten und, wenn sich ihre Wirkung auch in der einfachen Combination der Springfluthen fortgehoben haben könnte, wenigstens in den einzelnen Springfluthcurven hervortreten müsste; das ist aber nicht der Fall.

In den Solstitial-Springfluthen addiren sich die Mond- und Sonnen-Halbtagsfluth maximaler Declination, es steht zu erwarten:

$$2,68 + 2,25 = 4,93^{cm}$$

man findet:

$$3,90.$$

Die Mond- und Sonnen-Tagesfluthen müssen sich gleichfalls addiren,

zu erwarten steht:

$$11,75 + 4,70 = 16,45^{cm}$$

man findet in Wahrheit:

$$7,60.$$

mit allerdings empfindlicher Abweichung, deren Aufklärung zu suchen bleibt.

Die Curve № 4 aber:

Die Solstitial-Springfluth:

0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	12^h
-3,6	-3,3	-3,0	-2,2	-2,0	-2,1	-2,3	-2,8	-3,0	-2,8	-1,7	-0,2	+1,8
+1,8	+3,3	+4,6	+5,4	+5,6	+5,6	+5,0	+3,5	+1,4	-0,8	-2,5	-3,3	-3,6

in der die obere Culmination bei positiver Declination des Mondes und die untere Culmination bei negativer Declination mit einander combinirt sind, trägt doch den Charakter einer Fluthwelle mit starker täglicher Ungleichheit, deren Hauptmaximum den verlangten Platz einnimmt.

In der Solstitial-Nippfluth subtrahirt sich von der maximalen Mond-Halbtagsfluth die minimale Sonnen-Halbtagsfluth; also ist zu erwarten:

$$4,10 - 2,75 = 1,35,$$

und das wird auch gefunden.

Als Tagesfluth tritt die alleinige Sonnentagesfluth maximaler Declination auf:

also zu erwarten: $\overset{cm}{4,7}$
man findet: 7,2.

Die unerwartete Grösse der Tagesfluth ist im Wesentlichen durch zwei Sturmfluthen verursacht, deren eine Ende October, die andere im Juni stattgefunden.

Doch stimmt die sich ergebende Curve № 5:

Die Solstitial-Nippfluth:

0 ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h	4 ^h	5 ^h	6 ^h	7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h
-2,8	-2,8	-2,8	-2,3	-1,2	-0,2	+0,7	+0,8	+0,8	+1,3	+1,9	+2,6	+3,0
+3,0	+3,5	+4,0	+3,5	+2,3	+1,0	-0,7	-1,6	-2,2	-2,6	-3,0	-3,1	-2,8

in der mit Rücksicht auf die Sonnenstellung die obere Culmination des letzten Winter- und ersten Sommer-Mondviertels mit der untern Culmination des ersten Winter- und letzten Sommer-Viertels zu 12 Uhr vereinigt sind, ihrem Charakter nach mit der Combination der Mondfluth minimaler und der Sonnenfluth maximaler Declination, letztere um 6 Stunden vorgerückt, überein.

§ 9. Vergleich der Beobachtungen mit der Newton'schen Theorie.

Es lag nahe, die gewonnenen Zahlenresultate mit den Formeln der Newton'schen Theorie zu vergleichen. Diese Theorie verlangt¹⁾ in der geographischen Breite λ für die Declination des Mondes μ als Grösse der Halbtagsfluth:

$$a \cdot \cos^2 \lambda \cdot \cos^2 \mu,$$

als Grösse der Tagesfluth:

$$a \cdot \sin 2 \lambda \cdot \sin 2 \mu,$$

1) Cf. G. B. Airy. Tides and Waves (§ 44).

wobei a sich allerdings noch mit der Mondentfernung ändert, da diese aber in allen in Betracht kommenden Fällen die mittlere ist, als constant gelten mag.

Für Petersburg ist $\lambda = 60^\circ$. Aus der Beobachtung sind vier Fluthgrössen abgeleitet, die zu drei Monddeclinationen gehören. Die mittlere Mond-Halbtagsfluth hat dabei die sechsfache Sicherheit, die Halbtagsfluthen maximaler und minimaler Declination die doppelte Sicherheit der Tagesfluth maximaler Declination.

Aus 4 Gleichungen mit den entsprechenden Gewichten ergab sich als wahrscheinlichster Werth des Briggischen Logarithmus von a :

$$La = 1,1396 \pm 0,0200$$

und mithin:

$$a = 13,79 \pm 0,28.$$

In beifolgender Tabelle sind die mit Hülfe obiger Formeln und diesem Werthe von a berechneten Werthe mit den beobachteten zusammengestellt:

Declination des Mondes μ	Halbtagsfluth.			Tagesfluth.		
	Beobachtet.	Berechnet.	Differenz.	Beobachtet.	Berechnet.	Differenz.
6°	4,10	3,41	— 0,69	—	—	—
15	3,07	3,22	+ 0,15	—	—	—
26	2,68	2,79	+ 0,11	11,75	9,42	+ 2,33

Die Abweichungen sind wohl so gross, dass sie gegen die Anwendbarkeit der herangezogenen Formeln sprechen; immerhin aber brachte die von der Theorie verlangte Tagesfluthgrösse von über 9^{cm} die beobachtete von 12^{cm}, die anfangs unverhältnissmässig gross erschien, meinem Verständniss näher.

Die aus den Beobachtungen gewonnenen Zahlen können aber noch stark modificirt werden durch Erweiterung und Sichtung des Beobachtungsmaterials, indem namentlich die stürmischen Tage ausgeschlossen werden, durch consequentere Berechnung und durch Beachtung des Einflusses der Winde. Ob sie dann besser oder schlechter mit den Formeln übereinstimmen werden, muss vor der Hand dahingestellt bleiben.

§ 10. Literatur und Schluss.

Hagen¹⁾ gebührt das Verdienst, im Jahre 1857 das bis dahin nur vermuthete Vorhandensein einer Fluth und Ebbe in der Ostsee nachgewiesen und die Grösse derselben und die Hafenzeit für viele deutsche Ostseehäfen berechnet zu haben. Die Sorgfalt seiner Bear-

1) Hagen. «Ueber Fluth und Ebbe in der Ostsee». | senschaften, aus den Jahren 1857, 1859.
Mathem. Abhandlungen der Berliner Akademie der Wis-

beutung und Berechnung gleicht die Mängel der Beobachtung zum Theil aus. Es standen ihm, allerdings viele Jahre hindurch, aber nur einmal täglich und mit vielen Unterbrechungen angestellte Beobachtungen zur Verfügung. Erst in einer zweiten Abhandlung vom Jahre 1859 konnte er, in den Jahren 1857 und 1858 angestellte, stündliche, aber fast durchweg Nachts und im Winter unterbrochene Beobachtungen bearbeiten.

Diese Beobachtungen sonderte Hagen nach dem Alter des Mondes, indem er je 7 Tiden *nach* den Syzygien als Springfluthen, je 7 Tiden *nach* den Quadraturen als Nippfluthen, alle übrigen als mittlere Fluthen zusammenfasste. Seine Resultate sind daher mit meinen nicht direct vergleichbar, da ich je 5 Tage *um* die Syzygien zu Springfluthen vereinigt habe. Ich hoffe einen solchen Vergleich bald nachfolgen zu lassen.

Den Einfluss der Declination des Mondes hat Hagen nicht untersucht. Es konnte wohl auch deren Hauptwirkung nur aus vollen, 24 Stunden umfassenden, Beobachtungsreihen erkannt werden. Solcher aber hatte Hagen nur sehr wenige zur Verfügung. Eine an ihnen bemerkte Ungleichheit der Curven beider Tageshälften schreibt er ausschliesslich der Wirkung der Land- und Seewinde zu, gewiss einer der wirkenden Ursachen, in den von ihm erwähnten Fällen wohl auch die vorherrschende.

Auch W. Seibt, der die Aufzeichnungen des Registrir-Pegels zu Swinemünde¹⁾, nach dem Stundenwinkel des Mondes geordnet, publicirt hat, hat daraus wieder nur eine mittlere Mondfluth abgeleitet, da es ihm nur darauf ankam, deren Grösse als innerhalb der Grenzen der Sicherheit des Swinemünder Mittelwassers gelegen, nachzuweisen. Leider war es jetzt auch mir unmöglich, eine Sonderung der Mondtage nach der Declination des Mondes vorzunehmen, da die einzelnen Tage mit keinem Datum versehen sind. Ich muss es daher der Zukunft überlassen, zu entscheiden, ob die in vorliegender Schrift geschilderten Flutherscheinungen Petersburg eigenthümlich sind, oder der ganzen Ostsee angehören.

1) W. Seibt, Das Mittelwasser der Ostsee bei Swinemünde.

